

《海纳百川·藏书博览》

简装书库·自然科学总论

（理论、现状及发展）

百名院士科技
系列报告集
（上）
（01）

上海市黄浦区教育信息中心

前 言

中共中央组织部部长 张全景

为了贯彻党中央、国务院关于加速科技进步和加强科普工作若干意见的精神，实施“科教兴国”和“可持续发展”战略，落实全国科技大会和全国科普工作会议提出的提高全民科技意识和科技素质的任务，中国科学院、中国科协和中国工程院在北京、上海、天津、沈阳、长春、南京、合肥、武汉、广州、昆明、成都、西安、兰州等10多个中心城市，组织了百名院士面向社会，主要是面向党政领导干部作科技系列报告。这是一项很有意义的活动。

由中组部、中直机关工委、中央国家机关工委、中国科学院、中国科协和中国工程院共同举办的首场报告会，于1996年3月18日在刚刚落成的、由江泽民总书记题名的“中国科技会堂”隆重举行，百名院士科技系列报告拉开帷幕。出席首场报告会的领导同志有：中共中央政治局委员、国务院副总理邹家华，全国人大常委会副委员长吴阶平，全国政协副主席钱正英，中共中央纪律检查委员会副书记陈作霖，中共中央办公厅主任、中直工委书记曾庆红，以及中直机关、国家机关部委办负责人。著名科学家、中国科学院院长周光召院士作了题为《科学技术的发展趋势和它对社会的影响》的报告。

百名院士科技系列报告，涉及现代科学技术的各个领域和经济、社会可持续发展中重大科技问题的各个方面，广大听众很受启发，很受教育。为了使更多的干部学习科学知识，受益院士的科技报告，现将院士们在各地的报告汇集成册，投放社会，定将深受读者的欢迎！

1978年3月18日，邓小平同志发表了“科学技术是生产力”的重要讲话，党中央、国务院非常重视科技进步和科学技术的普及工作，号召各级领导干部努力学习科学技术知识。江泽民同志深刻指出：“加速我国的科技进步，一定要提高各级领导干部的科技素质。”当今世界，科学技术的发展日新月异，已成为经济发展、社会进步的的决定性力量。我们要加速建设有中国特色的社会主义，实现“九五”计划和2010年远景目标，实现经济体制和经济增长方式的两个转变，必须努力学习和掌握科技知识。各级领导干部要深刻领会邓小平同志关于科学技术是第一生产力的科学论断，从国家富强、民族振兴的高度，深刻认识学习科技知识的重要性，增强学习的自觉性。要充分认识到，提高领导干部的科技素质是提高领导水平，提高决策能力，做好领导工作的不可缺少的重要条件。要把学习科技知识与学习政治理论通盘安排，纳入统一的学习计划。一方面提高干部的思想政治素质，自觉做到讲政治，坚定正确的政治方向、政治立场，树立鲜明的政治观点，自觉遵守政治纪律，增强政治辨别力和政治敏锐性；一方面努力提高干部的科技素质，使之了解世界科技发展的趋势，拓宽知识面，或者对某一学科领域有更深入的了解，或者掌握某一方面的专业知识。各单位要联系各自的实际，做出计划，精心组织实施，使学习科学技术知识蔚然成风。各单位的主要领导同志，要带头学习，善于挤时间学习，要有知难而进的勇气，不耻下问的精神，注意学习效果，不断提高学习质量。由江泽民同志作序，宋健同志主编的《现代科学技术基础知识》一书，比较全面系统地对一系列现代科技重大问题作了深入浅出的论述；周光召、朱光亚院士主编的《共同走向科学——百名院士科技系列报告集》又提供了一本很好的学习材料，其内容涉及到经济、社会

和科学技术发展的各个方面，都可以作为学习的基础教材，组织干部学习，以提高干部的科技素养和决策的科学化。

让我们共同走向科学

——《共同走向科学——百名院士科技系列报告集》序

温家宝

由中国科协、中国科学院、中国工程院发起并组织的百名院士科技系列报告活动，是一件很有意义的事情。这么多著名科学家，在做好本职的教学、科研工作的同时，走向社会，给各级领导干部宣讲科技知识，开展科学普及工作，这对于实施科教兴国的伟大战略，提高全民族的科学文化素质，必将起到重要的推动作用。

我们所处的时代，是一个科学技术飞速发展的时代。科学技术已经成为经济发展和社会前进的首要推动力量，成为现代文明的象征，深刻改变着经济发展的方式和人们的社会生活。科学技术与经济的结合，科学技术向现实生产力的转化，科学精神在人们的思想观念和生活方式中的渗透，使我们生存的这个世界，与科学发现和技术飞跃的联系越来越紧密。邓小平同志及时把握时代脉搏，以他的远见卓识和敏锐洞察力，提出“科学技术是第一生产力”的英明论断，这是对马克思主义关于科学技术和生产力学说的重大发展。密切关注和跟踪现代科学技术发展的动向，切实把发展科学技术事业放在现代化建设的關鍵位置，这是我们在激烈的国际竞争中立于不败之地的根本所在，是国家强盛、民族兴旺的希望所在。

充分发挥科学技术是第一生产力的作用，把我国建设成为富强、民主、文明的社会主义现代化国家，需要浩浩荡荡的科技工作者队伍，需要提高全民族的科学文化素质。我们党和国家的各级领导干部，要做一个现代化建设的合格的领导者，就要不断学习科学技术知识，掌握科技发展的趋势和最新动态，使自己能够站在时代的前列。1994年，在江泽民同志的倡导下，由国家科委等单位专家组织编写了《现代科学技术基础知识》，介绍世界科技发展的状况、趋势和我们的对策。江泽民同志在序言中指出：“现代科学技术的发展日新月异，新发明、新理论层出不穷，知识更新异常迅速，我们只有锲而不舍地努力学习，不断吸取新的知识，充实自己，才能提高决策水平和领导艺术。”我们要按照江泽民同志的要求，在广大干部中掀起学习科学技术知识的热潮，努力提高广大干部的科技素质。

组织著名科学家给各级领导干部作科技报告，既是领导干部学习科学技术的一种好的方式，也是进行科学普及工作的一种好的形式。院士作科技报告不但具有权威性，而且具有感召力，他们在科学事业上的成就本身就是最富于说服力的教育。这种活动应该经常进行，提倡我们的科学家，尤其是著名科学家、院士，到社会和群众中去，介绍科学知识，宣传科学精神，这是建设社会主义精神文明，提高全民族的科学文化素质的一项基础工作。

百名院士的科技系列报告取得了良好的社会效果，深为广大党员干部群众所欢迎。现在编辑出版他们的报告集，可以让更多的人了解各门学科发展的最新动态，了解科学技术对经济和社会发展的作用。我们相信，只要广大科技工作者都来关心科学普及工作，只要广大党员干部群众都能认真学习现代科学技术知识，重视和支持科技工作，我们国家的科技事业就大有希望，社会主义现代化建设就能早日成功。

让我们共同走向科学！

共同走向科学

科学技术的发展趋势和 它对社会的作用

周光召

中国科学院

周光召 理论物理、粒子物理学家。1929年5月15日生于湖南长沙,1951年毕业于清华大学并入北京大学研究生院学习三年。曾任中国科学院理论物理所所长、中国物理学会副理事长、中国国际交流协会副会长等职。现任中国科学院院长、中国科协主席、国际纯粹与应用物理联合会副主席等职。1980年当选为中国科学院院士(学部委员)。他同时为美国、前苏联等13个科学院外籍院士,并曾获意大利爵士勋章。主要从事高能物理、核武器理论等方面的研究并取得突出成就。

认识世界和改造世界

《中共中央、国务院关于加速科学技术进步的决定》中指出:科学技术是第一生产力,是经济和社会发展的首要推动力量,是国家强盛的决定性因素。

科学与技术既有联系又有区别,科学是人类在认识世界和改造世界过程中形成的,正确反映客观世界的现象、内部结构和运动规律的系统理论知识。科学还提供认识世界和改造世界的态度和方法,提供科学的世界观和处世的科学精神。技术是在科学的指导下,总结实践经验所得到的,在生产过程和其他实践过程中,从设计、装备、方法、规范到管理等系统知识。技术直接指导生产,是现实的生产力。

科学产生技术,技术推动科学,这两者互相促进,有非常密切的关系。大家知道,科学技术最早是来源于生产的。它们从生产中独立出来成为人类的三大实践活动之一以后,科学就远远走在了生产的前面。无论是在它研究的空间范围、时间范围,还是研究的物质层次和规律上面,都走在了现实的生产前面。特别是它的基础研究部分,其中有暂时还看不到有实际应用价值的部分。恩格斯曾经在《在马克思墓前的讲话》中讲过一段名言,他说:“在马克思看来,科学是一种在历史上起推动作用的革命的力量。任何一门理论科学的每一个发现,即使它的实际应用甚至无法预见,都使马克思感到衷心喜悦。”从这里,大家可以看到马克思对待科学的态度。

基础研究,应用研究和开发研究

基础研究、应用研究和开发研究的特点和差别在哪里?

基础研究以认识客观世界的物质结构、各种基本运动形态和运动规律为己任,它不着眼于当前的应用。基础研究的重大发现常常带来生产的革命性变化。它的研究工作基本上在学科前沿,并在实验室中进行。

应用研究一般有明确的目的,是为了进一步发展某门技术,提高生产效率,拓宽应用的领域;利用基础研究的新发现开辟新的生产力和新的生产方向;它还要研究合理使用和节约资源,保护环境和生态等。100年以前,在实验室里发现了放射性,99年前在实验室里发现了电子,放射性和本世纪初

发现的相对论，就导致了今天整个原子能产业和核武器的诞生；而电子和本世纪初诞生的量子论及在本世纪中诞生的半导体、三极管产生了现在的整个电子工业。应用研究也要从认识规律出发，只有认识了才能更好地运用它去解决生产中的实际问题。所以在应用研究中间，我们有一部分叫应用基础研究，指的就是认识客观现象中运动规律的研究。

开发研究从事生产的技术改造、工艺革新、产品更新等，是科技转化的主要环节。

应用研究和开发研究的成果不断推动生产进步，使生产过程合理，效率提高，产品更新，成本降低，它的发展受到社会需求的强烈推动。

现在的基本发展趋势是：科学的研究成果转化为生产力的周期越来越短，速度越来越快。由基础研究带来的新兴产业和产业革命将继续发生，由应用研究和开发研究带来的技术进步和产品更新将持续不断。在 21 世纪，科学研究的水平将决定一个国家的竞争实力和一个社会精神文明的水平。科学研究的成就有赖于创新，而创新需要很高的理论水平。恩格斯在《自然辩证法》中说，“一个民族想要站在科学的最高峰，就一刻也不能没有理论思维。”

一些基础科学的发展趋势

数学

数学对数、形和逻辑的研究将更加深入，数学将会更广泛地应用于科学研究、预测、管理和生产中去。数学虽然是基础学科，它也对当今的生产产生作用。例如，在信息传输过程中，如何压缩信息是一个重要的问题，应用数学的成果发展信息压缩的技术是大有可为的。现在数学中有一门学问叫做小波分析，在信息压缩技术中有很重要的作用，大家知道日本在发展高清晰度电视中没有重视数字化而遭到失败，就是因为信息压缩技术没有很好地解决。美国应用数学研究成果，使得它在信息压缩技术方面超过了其他国家。因此，现在美国的计算机多媒体技术以及网络传输技术已经领先于日本，成为世界上信息技术最先进的国家。

天体科学

现有实验和理论认为，我们所在的宇宙是约 150 亿年前，由一次大爆炸中产生的。科学家经过长期的研究和对大量天体观察的结果，看到我们现在所在的太空中的所有星球都是在向外运动的，离开爆炸点越远，运动速度越快，表明它们是从一个点中爆炸出来的，形成现在的宇宙。目前科学家正在研究，在这之前和这一宇宙之外是什么？大爆炸是如何发生，宇宙是如何演变，星球是如何形成和死亡的？这些都是当今研究的热点。例如，科学家从微观的研究中推测，在很高的能量状态下，电磁作用、弱相互作用、强相互作用以及重力作用都可能是统一在一起的，随着爆炸过程，温度逐步降低，它们逐步分离出来，成为单独形式的作用力。宇宙一次大爆炸产生后 10^{-48} 秒时，重力场开始分离出来作为独立的作用力；到 10^{-11} 秒时，电磁作用开始产生；在 10^{-4} 秒时，“夸克”开始形成质子和中子；到了爆炸后而距今 30 万年左右，宇宙开始形成现有的原子核和原子；10 亿年前形成银河系；到了爆炸后的 150 亿年左右，形成了现在的世界。

世界上最新的望远镜——哈勃望远镜，通过航天飞机已送到 600 公里以外的太空上，那里没有大气层的干扰，所以这个望远镜几乎可以观察到宇宙起源那么远的时间和地点。大家知道，光每秒走 30 万公里，我们平常计算宇

宙的距离按照光走一年的时间来计算。这里有一张哈勃望远镜观察到的银河系的图片，光从这个银河系走到地球需要 6000 万光年的时间。所以，我们说这是 6000 万光年之前的一个银河系。在这个银河系里有一个非常亮的星体，还有一个比太阳重 1 亿倍的黑洞。

高能物理和场论

构成核子的共有 6 个夸克，其中第四个夸克，即粲夸克是由中国血统的学者丁肇中和美国物理学家 Richter 分别独立发现的，最后一个顶夸克已于去年发现。6 个夸克先由理论上预言，到去年为止基本都发现了，证实了现有的理论预测。作用于夸克上的胶子场也已有实验验证，现在正进一步研究夸克和胶子场会不会是更基本的超对称场和统一的相互作用的产物。在能量很高、距离很小的时候，所有的相互作用是统一在一起的，而我们的现实世界又不是那么对称的。因此，要研究高度对称的系统是如何实现对称破缺，以形成丰富多彩的世界的。原来人们认为运动中的对称性是不能破坏的基本规律，1956 年李政道、杨振宁首先提出左右对称在弱作用下是破缺的，后来发现有系列更高的对称性实际上也已经被破缺，现在正在研究对称性是如何被破缺的。

地球和环境科学

大气中臭氧层的破坏，温室气体的增加，地球上生物多样性的减少，以及水土流失和污染的加剧都带来了严重的环境问题。保护环境，改良生态，控制全球变化是科学研究的前沿问题。全球变化是指由于人类活动造成环境变化后对全球带来的影响。例如，温室气体的增加可以引起温度上升，会带来全球气候的变化，地球上生物多样性的减少也是全球性的问题。前不久做过一个实验，在冰岛有很深的冰雪层，是若干年以前积累起来的。在其中可以找到当时气候的资料，如大气中二氧化碳有多少，当时的温度是多少，从中可以看出从 15 万年前到现在二氧化碳含量及温度的分布。这里有一张图片，可以看出宏观上二者大体相应的情况，说明温室气体的产生对全球气候有一定影响，但它也不完全是对应的。最近地球上的温度波动很厉害，而二氧化碳一直在上升，所以全球的温度也不是完全由二氧化碳所决定的。有很多因素尚待科学家们去研究。另外从历史上看，大自然也会影响二氧化碳的增加或减少。现在的变化是否完全由于人为产生的温室气体造成的，还需进一步研究。值得注意的是，有人企图用这个来限制发展中国家增加生产能源，借此来抑制发展中国家的发展。这既是科学问题，可能也有政治上的问题。我们不能在科学上没弄清之前，就轻易地作出结论。地球科学还要研究海洋和地壳深部的构造与资源，研究地壳板块运动和地震活动。地震在经济发达的时候危害会更重，必须通过研究事先掌握地震的规律。

非线性科学和复杂系统

非线性科学和复杂系统科学预计在下一世纪会有重大突破，非线性复杂系统中经常出现所谓的混沌现象和自组织、自适应状态，对这些现象的进一步研究将得到规律性的认识和广泛的应用。混沌这个词在中国古代就有，所谓开天辟地之时是一片混沌，是无序的。实际上混沌并不是完全无规则的，它的形成是有一些普遍的规律的。而且形成以后，表面上看起来杂乱无章，实际上里面是有规律可循的。现在我们已经发现很多现象在一定的条件下都会出现混沌，只要是比较复杂的系统非线性相互作用下，这种现象都可能出现。包括人体里一些电波的跳动，也包括大气的环流，甚至于股票的涨落

等等都有混沌的出现，所以它是一个很普遍的现象。我们知道在很复杂的条件下，常常会出现能够自己组织起来并能适应这个环境的状态，这是很重要的问题。比如说生命的起源，生物是怎么产生的，在地球刚开始的时候并没有生物，是混沌的。在一片混沌的原始世界上，有高度组织、各部分协同的系统，有规则的各种空间结构模式是如何自动生成的？这都是当前研究的前沿问题。这种有序系统的形成带有一定的必然性，它又是如何在偶然性中展开的？反过来，对决定论力学运动的研究也发现，一些参数的微小变化能产生巨大的后果，可能出现混沌，差之毫厘，失之千里。偶然性也会在必然性中出现。

材料、能源和空间科学

材料工业是我国国民经济建设中的重要工业，也是非常重要的研究方向，材料可以说是所有工业的基础。预计智能材料、强场材料、仿生和有机功能材料、高强轻型复合材料和纳米材料等将大量应用。现在有些材料可以加入某些电子的技术，增加感知的能力。例如将来服装能够感知外界的温度，这种智能材料和仿生材料有某种关系。这种材料可以用在飞机上。飞机容易出事故，是因为出现很多裂纹。将一种材料涂在飞机的部件上，就可以感知其内部裂纹，预防事故。这些都是科学界正在研究的方向。室温超导材料一旦有所突破，将会改变电力、交通、传感、仪器、电脑等的面貌。这些材料都有可能在下世纪获得突破。

我们目前的能源是石油、天然气、煤等，这些能源储藏有限，有的还会带来很大的污染。如燃煤会产生温室气体和二氧化硫等有害气体，带来全球气候变化和酸雨。到下世纪中叶，必须用清洁的能源代替。我国也正在研究清洁煤的技术，如循环流化床，能够使燃烧过程更加完全、脱硫，这样的技术在我国正在小规模地进行研究。下世纪中叶，聚变能和太阳能应成为主要能源。西欧的托卡马克装置是世界上最大的研究聚变的装置，前不久首次在上世界上实现了热核反应，第一次达到输出的能源略多于输入的能源。通过国际的合作，美国、俄国、日本、西欧预计用 20 年左右的时间，要在世界上建设一个聚变实验反应堆。

在空间科学方面，卫星对地球的监控已可以观察到单个士兵的活动。卫星将对资源勘探、气候预报、战争预警、环境监测、全球通讯和定位等发挥重要作用。中国科学院遥感所在去年南方洪涝灾害时，提供灾情监测，很快确定洪水的面积及受灾范围，为防汛指挥部决策提供了依据。预计到下个世纪，人类还将开拓月球，做定居太空的试验。现在有一个国际合作计划，拟设立一个很大的航天站，可以较长时间地观测人类在太空的活动。

生命科学和认知科学

生命科学、认知科学和信息科学的结合和突破，不仅将回答生命和智力的起源，而且将实现用机器部分模仿人的脑力活动。由于集中了专家的经验 and 知识，机器可以比一般人更聪明。当然机器若想比全体人的智慧高现在看来是不可能的。因为机器是人创造出来的，机器的智慧也是人给的。人类的总体智慧会超越机器，但是个别人的智慧会低于机器。

先谈一下生命科学。每个成人都由一个受精卵发育而来。人的全部遗传信息储存于受精细胞内染色体的 DNA 中。人的遗传基因约 10 万个，每个遗传基因是由 A、T、G、C 四种核苷酸，按次序排列在两条互补的组成螺旋的 DNA 长链上。核苷酸总数达 30 亿左右，DNA 储存了制造蛋白质的信息，基因中由

三个密码字母组成一个氨基酸，许多不同氨基酸的排列形成蛋白质长链，再经过折叠而成有活性的蛋白质。DNA 犹如存储生命之歌的磁带。这里有一张用隧道扫描显微镜拍摄的 DNA 图像，可以看出它是双螺旋。和 DNA 密切相联的另一长链，称为 RNA，它也带有全部遗传密码，它可将信息由细胞核内带出来，在细胞质中制造蛋白质。最原始的生命可能由 RNA 产生。现在科学界在讨论到底是 RNA 还是 DNA 是最早的生命起源。DNA 可以生成 RNA，RNA 也可以生成 DNA，因为 RNA 也带有全部的遗传信息，它本身还带有生物酶的作用，很可能 RNA 是最早的生命体。现在世界都关注防治艾滋病，这要先了解艾滋病毒如何侵入人体的问题，人的免疫细胞是用来防御的，是抵抗外来病菌的。当免疫细胞被艾滋病毒侵袭时，病毒通过细胞膜进入，然后将病毒的遗传物质 RNA 放出来，复制成它的 DNA，再进入到细胞核中去，和细胞本身的 DNA 组合、复制，然后分离出来，组成一个全新的病毒。一部分组合成外壳，一部分就是病毒遗传物质本身，同时破坏了这个免疫细胞。

人如何由一个细胞发育而成？遗传基因如何启动和调控？各种器官和系统是如何按时间顺序和空间位置发育？细胞间信息如何传导？神经系统如何指挥、协同？疾病和衰老是如何发生的？这些都是今天生物学家在着重研究的问题。例如，一个正常的果蝇有两只触角。果蝇的发育是由它的遗传信息所决定的。科学家将它的遗传密码的位置掉换一下，改变了它的发育在空间的结构，使果蝇的足长到了它的触角的位置上。同样的情况在其它动物身上也可以实现，如把老鼠的脊椎骨放到尾巴上。遗传基因的排列次序对它的时间和空间发育是非常重要的。例如人的某些器官损坏了，能否重新启动他的基因，使其重新生长出新的器官，因为原来在人的发育过程中，基因都是启动过的，成人之后就关闭停止了。在正常的情况下，不能再启动。损坏的肢体或器官能否有可能再产生出来，在现在看来是科学幻想，但是也不敢说没有实现的可能。一个弄清人的全部基因排列次序的国际计划正在进行，在下世纪初，就可以把 30 亿个密码的排列情况，10 万个基因的情况研究清楚。

目前中国正在组织全国的科学家执行一个弄清水稻全部基因的计划。在这方面，日本比中国早进行几年，但是中国科学家以更高的智慧，在水稻基因图谱方面，发展了一种新的方法。中国科学家还与美国科学家合作，从水稻基因中分离了抗性基因，该基因是水稻基因组研究中第一个采取定位克隆战略分离的基因。这个结果已经超过了日本的进展水平。预计中国可以在世界上第一个得到全部水稻基因的图谱。

再谈一下认知科学。人脑有百亿个神经元，相互通过千万亿个突触相联接，分布在两毫米厚的大脑皮层上。人脑是如何工作的？人的意识、情绪、意志、感情、理智、智力是如何由脑神经细胞产生的？这个问题不仅具有重大的科学价值和应用前景，而且有重大的哲学价值。这是唯物主义和唯心主义最后争论的焦点。人的意志、情绪等，是由物质所产生的，还是独立的存在。研究这个问题是非常困难的，但现在已经开始进行，而且有了一些初步的进展。预计下一世纪会有很大发展。

未来的生物技术

生命科学的发展对我们的生活有非常密切的关系，未来的生物技术对农业、环境、健康、化工等都是非常重要的。

利用生物技术将来可以由转基因生物生产食物、药品和移植器官。将来植入人体的各种智能芯片可以提高记忆，恢复视力、听力等。现在恢复视力

的芯片已经发明出来，并植入人体。还可采用基因疗法治疗肿瘤、心血管等的常见病。

将来可以用转基因植物直接生产塑料和化工原料。现在我们的化工厂污染也很厉害，用生物来直接生产化工原料是可能的。生物酶比化学的催化剂更有优越性，因为生物酶常常在常温的条件下进行催化。我们人体就是一个大的化工厂，是靠生物酶来作用的。而很多化学催化剂需要很高的温度，还会带来很多问题。用生物酶作催化剂发展化学工业，用生物清理垃圾和清除污染，用生物防治代替化学农药，用经微生物处理的有机肥代替化学肥料，这是发展方向。现在化学农药污染是相当严重的，前不久有消息说，广东有些人因食用被污染的蔬菜而生病，这就表明我们目前使用的农药毒性太高，将来要解决这个问题，很重要是采用生物防治的办法。

生物技术也可以应用于电脑产业上，生物芯片和生物电脑能更好地模仿人脑的功能。

还可让具有自组织、自适应和自修复功能的仿生材料和器件成为商品。例如人的骨骼有自修复的功能，那么，机器的零部件损坏了，能否自己识别、自己修复，看来这也不是完全不可能的。

农业和医药

将来农业生产将实行工厂化、信息化，不靠天，肥料有机化，农药生物化。高产、优质、抗逆性强的转基因动植物将成为重要的农作物品种和生产药物及化工原料的“机器”。基因工程药物和基因疗法将普遍使用。转基因异种器官移植将成为可能。这里有一张转基因花卉的图片，用不同的转基因，可以使花卉只生长花瓣、花蕊或者花叶。将来可以用转基因的方法生产出各种各样的植物以达到高产优质。

人口、资源和环境

恩格斯在《劳动在从猿到人转变过程中的作用》中说，“我们不要过分陶醉于我们对自然界的胜利。对于每一次这样的胜利，自然界都报复了我们。为了得到耕地，把森林都砍光了，但是他们梦想不到，这些地方今天竟成为荒芜不毛之地。”世界上重视环境问题是在本世纪中叶，而恩格斯早在 100 年前就提出环境问题，可见他有很高的预见性，也说明了哲学对科学的重要指导作用。

人口过多、资源相对不足、环境退化三者相互影响，恶性循环，是人类面临的巨大挑战。可持续发展战略是唯一的选择。它要求控制人口增长，节约和合理使用资源，保护环境，消除贫困，普及教育，发展科技和文化，提倡文明、道德和适度消费等。这是世界性的问题，也是中国的问题。

（一）现状

和世界人均相比，目前我国可耕地为 $1/3$ ；淡水为 $1/4$ ；森林为 $1/6$ ；草地为 $1/3$ ；矿产为 $1/2$ ；石油、铁矿石、钾盐、铜等缺少；资源利用率不高，浪费严重。

我国环境问题非常严重，水土流失面积达 179 万平方公里，每年流失表土达 50 亿吨；沙化面积近 150 万平方公里；森林覆盖虽有所上升，已近 14%，但仍远低于先进国家水平；湖泊面积日益缩小，主要河流和湖泊污染日益严重；我国每年排放二氧化硫 1800 万吨，烟尘 1400 万吨，废水 360 亿吨，废渣 6.17 亿吨；长江流域已经普遍出现酸雨。城市空气污浊，水质不洁，农药残留，白色污染有增加的趋势。

我国自然灾害也日益增加，如表所示：

年份	受灾面积 (万公顷 / 年)	成灾面积 (万公顷 / 年)
1952 — 1959	2450	1047
1960 — 1966	3760	1773
1970 — 1979	3767	1158
1980 — 1989	4155	2038

(二) 期望的情况

将来全球变化的不利趋势将得到控制，大气和河流将恢复自洁功能，这是我们所要求的，也是可以达到的。还应大规模治理沙漠、荒漠和荒山，以改变气候和改良生态。要使环保意识普及，绿色科技和绿色产品占据统治地位，可持续发展成为共识，人类应以适度消费作为健康的生活方式，这些对我们国家非常重要。我们还在发展之中，但超前高消费意识已经在一部分人中间滋长，这是完全不符合我国持续发展战略的。

信息科技

微电子、电脑、各种仪器的迅速更新，将推动科学技术、生产、教育、传媒和服务业的继续快速发展，成为生产力中发展最快、带动面最大的科技。信息科技将从根本上改变社会的生产方式和生活方式。信息科技的重要性可以反映在一句古语上，即“知己知彼，百战不殆。”在信息工业的带动下，工业生产过程和产品将实现数字化、网络化、集成化、智能化、移动化、个性化，以及参与式和交互式。在信息科技中提出的虚拟现实，在人的参与下用计算机来模拟现实中发生的情况，将改变教育、训练、研究、设计、模拟、实验的方式。

科技发展对社会的影响

(一) 信息社会的来临

信息高速公路的建成标志世界信息社会的到来。最近世界上不少国家都在建设信息高速公路，我国的金桥工程也在建设中。信息网络将把国家、地区、单位和个人联成一个整体。世界上任何地区发生的政治、经济、社会、生态的事件都会立刻产生全球影响。世界上已经没有独善其身的乐土。

实时观测和信息反馈系统，使集中调控、市场监视和灾害预警成为可能。利用信息网络的并行工程将设计、试制、生产、销售一体化；在新产品开发中实行并行工程，达到和超过这些功能，将在设计的过程中不断反馈生产部门、销售部门的意见，设计出来的东西用虚拟现实，送到消费者面前加以评价和选择，然后改进和实现小批量、多品种的生产，这样将大大缩短新产品上市的时间。一部分工厂将实现远距离电脑控制，全自动化、无人现场操作的生产。所以，以机器部分代替脑力劳动将开辟生产力大发展的新产业革命，其意义和影响将大于以机器代替体力劳动的第一次工业革命。

(二) 信息社会中的家庭

马克思在《1844 年经济学哲学手稿》中说，自然科学却通过工业日益在实践上进入人的生活，改造人的生活，并为人的解放作准备。

在信息社会中，家庭中配备综合事务处理工作站，集成高清晰度电视、高保真音响、数字电视电话、传真、电子邮件、电脑等功能，通过信息高速

公路与工作单位、学校、图书馆、博物馆、研究所、新闻库、电视库、商店和服务单位进行交互式联系，解决生活和工作中的各种问题。在这种情况下，集中办公已无必要，可以通过电视电话办公，实现协同和调控。家庭将成为生活、学习和娱乐的共同场所。家庭再次成为社会最重要的基本单元。在这样的家庭里，妇女将获得彻底的解放，将更多地参加工作和社会活动。儿童的家庭教育也将变得更为重要。

（三）未来的掌上计算机

现在的笔记本电脑已经可以有几亿次的运算速度，有几千兆的存储量。未来掌上计算机将达到和超过这些功能，将配备数字电话和全球定位系统，连通国际信息高速公路，对工作进行远距离实时控制。能进行文件处理，信息传送、储存、分析和判断，语音识别和控制，实时翻译等。它还是个人身份证、信用卡、会员证、票证等；还可实施家庭电子管理和安全预警，电子定货，购物和结算；它同时是学习课本和辅导教师，又是微型电视，收音和游戏机；还可以对人们实行健康监护。比如加装各种传感器，测量血压、脉搏等。

（四）信息社会的景况

工业将实现由顾客参与设计的多品种、少批量的生产，满足顾客的不同需要。与过去不同的是顾客将参与设计，如购买汽车，可先自行对样式、设备要求进行设计，然后定货，交付使用。家庭购物也可以通过电视进行交互式对话。第二产业将和第一产业一样，产品越来越丰富，但就业人数越来越少。将来以知识和高新技术武装的，范围广阔的服务业将成为主要的就业途径。而就业人员的知识水平和知识更新的速度成为最重要的竞争因素。终身学习和成人教育将是社会的重要职责。

有人预测，知识将代替权力和资本成为最重要的社会力量。普及教育和科技是消灭贫困和两极分化的根本出路，也是消灭城乡差别，脑力劳动和体力劳动差别的根本途径。从这些都可以证明邓小平同志提出的“科学技术是第一生产力”的论断的深远意义。

科技发展对社会精神文明的影响

科技不仅是生产力，而且是强大的精神力量，科学不仅提供关于客观世界运动和发展的规律性知识，而且提供了系统的认识世界和改造世界的方法，提供了在社会中对待事物的科学态度和处世立身的科学精神。恩格斯在《英国状况》中说，“科学和哲学结合的结果就是唯物主义”。今天在社会上弘扬科学精神，提倡科学态度和科学方法具有重要的现实意义。科学态度的基本要求是严肃认真，一丝不苟，客观公正，实事求是。科学方法则基本上就是毛主席在《实践论》和《矛盾论》中所论述的方法的具体化。

毛主席在《实践论》中说，“必须经过思考作用，将丰富的感觉材料加以去粗取精，去伪存真，由此及彼，由表及里的改造制作工夫，造成概念和理论的系统”。我想就毛主席所说的去伪存真谈点看法。要做到去伪存真是很不容易的，因为现实中存在有意地作伪，如动物的保护色，军事上人为的伪装和隐形，制造假相，散布虚假信息等。同时不掌握唯物论的认识论，不掌握科学方法和基本的科学知识，就会轻易相信未经严格证明的表演等，就很难存真。所以，耳听为虚，眼见也未必为实。

自然科学通过精确的仪器，在严密控制的条件下，进行可重复和可比的

实验，同时对比、分析和综合其他有关实验结果，并利用数学方法进行严格的逻辑推理和误差分析，以求得正确的认识。这就是说，要严格控制条件，进行可以重复和可比的实验。例如实验新药，要知道它的治愈率有多高，一定要作双盲实验，即找两个条件相当的人群，在不知情的情况下，一个给药，一个给安慰剂，经过实验后，才能确定真正的疗效，否则结果是不可靠的。

科学精神是彻底的唯物主义精神，它的要点可以概括如下：

科学要求认识客观世界的运动规律，因此客观、求实是科学精神的首要要求。科学认为世界的发展、变化是无穷尽的，认识的任务也是无穷尽的。因此，不断求知也是科学精神的要求。

科学要追求真理，不盲从潮流，不迷信权威，不把偶然性当做必然性，不把局部看作整体。未经严密的科学方法所作的反复实验证明和严格的科学推理，不轻易相信所谓的新发现。科学的怀疑精神也是科学精神的组成部分。

科学认为具体的真理都是相对真理，都有适用的条件和范围，因而是可以突破的。新的发现将拓广原有的真理，使之适用于更大的范围和更少的条件。创新精神是科学精神的重要组成部分，相对论和量子论都推广了牛顿力学，并适用于更大的范围。

科学又认为，相对真理是不断逼近绝对真理的，绝对真理是由相对真理构成的，在每一具体真理适用的范围和条件之内，它是不能违反的，新发现的真理必须包含原有的真理内容。例如，相对论发展了牛顿力学，但当运动速度变小时，相对论就自动趋于牛顿力学。继承是科学精神的组成部分。现在有很多新发现是不讲继承的，它们违反了许多反复证明过的真理，只用自己的表演来说明新的发现。这是不符合科学精神的。

科学已成为社会三大实践活动之一，是社会有组织的群体活动，因此团队精神、民主作风、百家争鸣都是科学精神的组成部分。科学不仅是认识世界客观规律，创造新技术和新知识，而且要参与社会的变革，促进社会的进步，要从理性的认识发展到变革的实践。

毛主席在《实践论》中曾经讲过一段非常精辟的话，“通过实践而发现真理，又通过实践而证实真理和发展真理。从感性认识而能动地发展到理性认识，又从理性认识而能动地指导革命实践，改造主观世界和客观世界。实践，认识，再实践，再认识，这种形式，循环往复以至无穷，而实践和认识之每一循环之内容，都比较地进到了高一级的程序，这就是辩证唯物论的全部认识论，这就是辩证唯物论的知行统一观。”

发展科学的动力

科学本身不仅要在学科前沿，而且更要在经济和社会发展中获得推动力量，才能不断向前发展。我们必须从科教兴国、振兴中华的历史召唤中汲取力量，鼓舞全国科技、教育界投身经济建设和社会发展的主战场，并在科学前沿上努力拼搏，才能赢得中国科技事业的再度辉煌。恩格斯说，“社会一旦有技术上的需要，则这种需要就会比十所大学更能把科学推向前进。”因此，我们科技界一定要把主要的力量投入到促进国家发展和经济建设的主战场上去，这不仅是社会的需要，也是科学自身发展的需要。

在科学的发展中，国际合作和交流是非常重要的。因为科学技术没有国界，发展科技是人类共同的责任。开展国际合作和交流，努力学习和引进国外先进技术是必要的，但是学习和引进是为了创新，为了自立于世界民族之

林。中国作为世界人口最多的国家，还应当为世界科技发展作出应有的贡献。科学家是有祖国的，中国科学家一定要努力让中国工业建立在本国的知识产权基础上。

马克思在《机器，自然力和科学应用》中说，“科学分离出来成为与劳动相对立的，服务于资本的独立力量，一般说来属于生产条件与劳动相分离的范畴，并且正是科学的这种分离和独立成为发展科学和知识的潜力的条件。”所以科学从生产中分离出来，成为独立的社会实践活动，是社会进步的要求，科学研究的时空范围和对物质结构的深入探索都远超出了当今生产的实践，科学的超前发展不断开辟着新的生产领域。科学和经济的紧密结合是正确的，是必需的，但把科学活动都归为经济活动则是不正确的。

马克思在《剩余价值理论》中还说过一段很重要的话，“对脑力劳动的产物——科学的评价，总是比它的价值低得多，因为再生产所必要的劳动时间，同最初生产所需要的劳动时间是无法相比的。”这段话说明了创造新知识是一项艰苦的劳动，社会应当为此准备必需的物质和精神条件，要有配备先进仪器，集中优秀人才的研究基地，要有足够的运行经费，要有促进创新的交流制度和学术气氛。掌握知识产权的多少将决定一个国家的竞争实力，决定它在世界上的地位。希望大家从马克思的话里能够了解到创新是非常不容易的，创新知识的价值远远超过去模仿、引进的知识价值的本身。

普及科学，破除迷信

从历史上看，辛亥革命后，社会上宣扬鬼神的迷信盛极一时。上海有灵学会，出版《灵学丛志》；北京有悟善社，出版《灵学要志》；当时，风水算命，卜卦，画符，念咒，扶乩，炼丹，运气，迎神，说鬼，无奇不有，横行国中。在李大钊、陈独秀的发起下，《新青年》杂志高举科学和民主的旗帜，对迷信活动进行了有力的批判和反击，迎来了“五四”新文化运动。一般来讲，在社会变革的时期，人们不了解发展的趋势，不能掌握自身的命运，或发横财，或遭破产，都有神秘和不安定感，在缺少精神支柱时，人们感于今生，期于来世，以宗教信仰或迷信活动来寻求心理安慰，都有一定的社会根源。时下迷信的泛滥与辛亥革命后出现的情形何其相似，就说明了这一点。

目前，我们破除迷信需要加强精神文明建设，对用迷信活动诈骗的行为要进行法律制裁和舆论谴责，将普及教育和科学知识等多方面工作相配合。这是一项长期的系统工程，普及教育和科技知识是根本的措施，要坚持不懈地做下去。

当代工程技术发展趋势及 应引起重视的几个问题

朱光亚

中国工程院

朱光亚 原子核物理学家。1924 年 12 月 25 日生于湖北宜昌。1945 年毕业于西南联合大学。1949 年获密执安大学物理学博士学位。历任北京大学副教授，东北人民大学教授，北京第九研究所（后改为第九研究院）副所长、副院长，国防科学技术工业委员会副主任，国防科学技术工业委员会科技委副主任、主任。1980 年当选为中国科学院院士（学部委员）。1994 年被选聘为中国工程院院士，当选为首任院长。先后当选为中国核学会副理事长，中国科协副主席、主席，中国共产党中央委员会候补委员、委员，中国人民政治协商会议全国委员会副主席。是我国核科学技术的主要开拓者之一，在我国核武器事业的发展中起了关键作用，作出了极为卓越的贡献。

1980 年前后，钱学森同志在论述现代科学技术的特点和体系结构的几篇著作中指出，工程技术是现代科学技术体系中的一个分支。它是综合应用技术科学、自然科学和社会科学的知识，使自然资源最佳地为人类服务而发展起来的一类专门技术。工程技术直接为经济建设和社会发展作贡献，它的任务是改造客观世界并取得实际的成果。近几个世纪以来，人类社会的各个领域，都在不同程度上受到工程技术发展的影响。进入 20 世纪，由于自然科学领域的重大发现和技术科学领域的不断创新，工程技术发展的步伐加快了，对经济建设和社会发展的影响也更为显著。

一、当代工程技术发展的五大特点

与过去相比，当代工程技术发展有五大特点。这五个特点反映了当代工程技术发展的基本趋势。

1. 信息技术革命在产业化过程中的作用日益增强

人类社会赖以生存和发展的三大要素是物质、能量和信息。在农业社会中，人们对物质的认识比较深刻而对能量的认识较少；在工业社会中，人们又普遍认识到了能量的重要性。现代工业社会可以说是建立在物质和能量的基础之上的；而以往的产业革命，可以说是在挖掘劳动资料的机械、物理和化学属性的潜力。但是，与以往产业革命不同的是，在推动当代社会进化的能量流、物质流、信息流中，信息流起着越来越重要的作用。

1938 年，发现铀原子核裂变。曾有预言：人类进入了原子能（核能）时代。20 世纪虽有巨大进步，但未能实现这一乐观预计。据 1994 年终 IAEA 统计，核电在各国发电量中所占比例：法国 75.29%，瑞典 51.13%，韩国 35.48%，西班牙 34.97%，日本 30.70%，美国 21.98%，加拿大 19.07%，我国为 1.49%。

1957 年和 1961 年，前苏联曾先后成功地发射了世界上第一颗人造卫星和发射第一艘载人飞船；1969 年 7 月美国实现宇航员登月。也曾有预言：人类进入了空间时代。现在看来，空间技术虽有重大进步，但发展亦有限。而且，正是由于信息技术的发展进步，通信、广播、遥感、气象卫星等产业才取得了迅速扩大的市场和效益。

1958 年研制出第一块硅集成电路，从此信息技术由电子管、半导体器件跨入以集成电路为基石的阶段而飞速发展。专家们一致认为：近 30 年来，信息技术在世界新技术革命中一直处于核心地位；它不仅作为一项独立的技术而存在，还广泛渗透于其它各个技术领域，成为它们发展的基本依据和重要手段。电子信息技术能优化现代生产过程的控制、物质流动过程的控制和金融资本流通过程的控制，使得计算机乃至更小的信息处理装置能够嵌入到控制生产过程的装置或设备之中，从而大大提高能源和基本物质的利用率，从根本上促使工程技术与生产力更为紧密地凝结在一起。这种倍增器的作用和效能，已成为越来越多人们的共识。

仅举电子信息技术在第三产业中一个应用实例作点补充，即正在迅速发展的信用卡由磁带型向芯片型转变。芯片型信用卡可携带的信息量比磁带型更大（10~100 倍），能执行身份证、信用卡、通电话付款、乘公共车付款、自动付款机用卡、医疗用信息卡等多种功能。芯片型信用卡（或称“灵巧”卡）是由电话通讯的需要引发的。美国通话费用很低，为防止被人滥用，只需附装磁带型识别、确认器（reader）就足够。而欧洲电话费用高，欺诈、盗用率高而且呈上升趋势。80 年代中期法国即开始发展芯片型“灵巧”卡，以替代磁带型卡，发行量已达 2000 万个。而代替现金和支票进入商业流通中的付款用“灵巧”卡已开始在美国、德国、澳大利亚、香港等国家和地区应用，发行量达到百万量级。据经济学家估计，在各种商业交易中使用付款“灵巧”卡后，可节约 4%。而且现金不呆滞在个人身边而存在银行的利息也是可观的。

信息和知识具有全球扩展、光速传输、非线性效应、用之不竭、多方共享等独特功能，已成为信息时代的生产要素。正象海湾战略和波黑冲突初步表明的，信息和知识在战争中能发挥重要作用，是重要的毁灭（杀伤）力量，也是力量倍增器。信息技术改变了过去单纯以计算有多少装甲师、航空联队、航母战斗群来衡量军事能力的传统观念，现在还必须考虑一些无形的力量，如计算能力、通信容量和可靠性、实时侦察能力……战争实践表明，“计算机中一盎司集成电路芯片产生的效应也许比一吨铀的作用还大。”

总之，信息技术正在改变原有社会产业结构和经济结构，改变人们的劳动方式和生活方式，改变社会生产组织和管理体制，成为决定生产力发展速度和经济竞争力高低的关键。这是当代工程技术发展的最为重要的特点。

与世界发达国家相比，我国的信息科学技术尚有较大的差距。我国目前还处于工业化阶段，能源和物质利用率低。例如，我国目前能源的有效利用率为 30%，而发达国家为 40~50%；我国钢材利用率为 60%左右，而发达国家通常在 80%以上。由此可见，我国目前的经济增长在很大程度上是资源消耗所推动，技术进步的推动作用还比较小。当然，这也说明我国经济增长的潜力很大，依靠信息技术、制造技术、新材料技术的进步，就能使我国经济持续地以较大幅度增长。

2. 微观尺度生产领域制造技术的演进与革命方兴未艾

微观尺度生产领域制造技术主要涉及微电子技术、微机械技术和纳米级制造技术。

（1）微电子技术的发展，为信息技术革命提供了最坚实的物质技术基础

微电子技术已经历了大规模（LSI）、超大规模（VLSI）、特大规模（ULSI）集成时代，并于 1995 年进入吉规模（GSI）集成时代。“吉”是千兆或十亿

的意思，即集成度达到 256 兆位动态随机存储器，在 350 平方毫米的芯片上集成 5 亿个元件。已上市的这种产品为大于 600 万个元件，相应的微细加工尺寸为 0.35 微米。这种情况还在继续，预计上千万个元件、微细加工尺寸达到 0.25 甚至 0.16 微米的芯片不久即可上市。半导体材料的发展由最初的锗到硅再到砷化镓，生产工艺经历了平面型工艺，分层工艺，图形产生（光刻）以及硅平面型技术的标准工艺和集成电路经济规模的生产制造工艺的演进过程。

计算机已经改变了人类社会的面貌。推动这场正在进行中的革命的动力就是微处理器。由于生产工艺的不断进步、创新，从大规模集成电路芯片研制成功的 25 年以来，其集成度每隔 18 个月就翻一番，而每隔 3 年就能以同样的价格买到性能比 3 年前高 4 倍的芯片。这种状况似乎是罕见的。然而，随着微细加工尺寸达到深亚微米，目前使用紫外线刻制电路的光刻技术会出现一些技术障碍（最高分辨率受到光线波长的限制）。转用 X 射线来生产集成度更高的芯片，制造工艺装备更新又将要求巨额投资。因此，不少科学家预测，今后微电子技术的发展从本质看将是渐进性的，而不再是革命性的。即便如此，到 2020 年，大规模集成电路芯片仍将使微处理机的软件发生革命性变化，其计算能力十分惊人。

（2）微机械技术会像微电子器件一样给社会带来深刻影响

微机械技术是指在几厘米以下及至微米尺度上制造微机械装置。研究者们利用微电子材料和工艺制作了微型梁、槽、齿轮、薄膜和微马达。这种马达可用来移动原子或开闭阀门抽取微升量级的液体。像晶体管一样，这些微米级机械可同时制作上百万个。

电子计算机和集成电路威力巨大，但究其实质，只不过是电子的运动进行通断控制。在今后 50 年中，微机械装置将为电子系统提供通向外部物质世界更加直接的窗口，使它们可以感受并控制运动、光、声、热及其他物质作用。

微机械与电子系统的结合（被称为微机电系统），将在众多的科学和工程领域取得巨大的技术进步，使得各种各样的微型装置得以面世。例如，美国加州大学的一个工程师小组想要展示一下微机电系统最终是如何影响空气动力学设计的，他们概述了替换机翼的相当大的活动表面的技术概念，计划在翼表面镶上几千条 150 微米长的平板，静止时它们平铺在机翼表面；加电压时，平板一端从表面升起（最大角度达 90°），因而能控制流过机翼横截面的空气涡流。传感器可以监测机翼的高速气流并发出信号以便调节平板的位置。这些活动的平板（即作动器），具有类似于常规飞机巨大襟翼微观改型相同的功能。翼面控制的微调将使飞机转弯更快，飞行更平稳，并且因飞行效率更高而节省燃料。由这种“灵巧蒙皮”获得的附加气动力控制能力，可能导致飞机设计的根本性变化：去掉襟翼、舵甚至机翼，使飞机从“带翼圆柱体”变成“飞翼”。

专用集成微型仪器的原型已可以探测局部地区和遥远地区的环境。专用集成微型仪器将引起航天器和航天系统技术的深刻变革，将可能产生重量小于 0.1 公斤的纳米卫星。用五六百个这样的卫星覆盖全球，完成监视和信息转发；再用无人机等散布神经系统、植入了微机器人电子失能系统的昆虫去进行侦察、破坏甚至杀伤……胜似神话，不是神话。

（3）纳米级制造技术将是微观尺度生产领域另一惊人发展

纳米技术是指在 0.1 ~ 100 纳米 (10^{-9} 米) 尺度上研究和利用原子和分子结构、特征及其朴素作用的高新技术。它的最终目标是直接以分子、原子在纳米尺度上制造具有特定功能的产品, 实现生产方式的飞跃。自 1990 年 3 月在美国召开世界上首次纳米技术学术会议之后的短短几年间, 这个领域取得了日新月异的新成就。研究者们认为, 作为纳米技术重要组成部分的纳米电子学, 将是纳米技术发展的主要动力, 它将立足于最新的物理理论和最先进的工艺手段, 按照全新的概念来构造电子系统, 超越传统的极限, 实现信息采集和处理能力的革命性突破。例如, 有关专家估计, 利用纳米技术将可能使美国国会图书馆的全部藏书存储在一个直径为 0.3 米的硅片上。

微米级制造工艺包括光刻、刻蚀、淀积、外延生长、扩散、离子注入、测试、监测及封装。纳米级制造包括微米级制造中的一些技术的延伸, 如 X 射线、电子束、离子束刻蚀, 但也包括对材料进行原子量级的修改与排列的技术。目前这种技术仍处于实验室研究、开发阶段。

纳米技术的另一诱人研究方向是发展分子器件和生物器件。自然分子机器 (如核糖体) 的普遍存在导致人们设想人工分子机器, 像分子装配机器、基于分子装配的复制、机械纳米计算机和细胞修复机器等。更重要的是, 生物分子制造物质的真正优点是它们能自我组装。研究人员希望未来能研制出由单个分子组成连线 and 晶体管的分子电路, 最终是实现分子电脑。

在纳米技术中, 纳米电子学与纳米生物学既相互联系又相互促进。最近, 用原子力显微镜对 DNA (脱氧核糖核酸) 分子链上的任何确定部位进行了分子切割。这类手术再结合分子操纵, 是迈向在纳米尺度上改选基因的重要进展。第一代分子机器是生物系统和机械系统的有机结合体; 第二代分子机器应是能直接从原子、分子装配成有一定功能的纳米尺度的装配装置, 第三代分子机器将是含有纳米计算机的、可人机对话的并有自我复制功能的纳米装置。分子机器一旦研制成功, 它能在 1 秒钟内完成数十亿个动作, 用足够多的分子机器就可以在几秒钟或几分钟内完成现在几天或几个月才能完成的工作。

3. 材料技术成为不同工程领域产业化的共性关键技术

当代每一项重大新技术的出现都有赖于新材料的发展。对国民经济、国防和现代科学技术具有重要作用的半导体材料就是一个明显的例证。

据美国商业部 1990 年发表的一个报告预测: 到 2000 年, 全世界包括超导体、先进半导体器件、高性能计算机、新材料等 12 项新技术的世界市场总营业额将达到 1 万亿美元, 其中各种新材料将达到 4000 亿美元, 占 40%。

目前世界上已有传统材料几十万种, 而新材料的品种正以每年大约 5% 的速度在增长。90 年代新材料的发展方向是高功能化、超高性能化、复合化和智能化。

材料技术的发展趋势归纳起来主要体现在以下两个方面:

一是功能材料的小型化、信息化。功能材料的使用性能主要是光、电、磁、热、声等功能性能, 它是各种高、新技术蓬勃发展的基础和先导。例如, 目前硅材料仍是大规模集成电路的基石。然而, 由于砷化镓有更高的禁带宽度, 其器件可用于更高的工作温度, 运算速度比硅器件高好几倍。因而砷化镓比硅更有发展前景。而且, 用砷化镓材料研制的器件具有重要的光电效应, 可使其成为激光光源, 这是实现光纤通信的关键。更重要的是由于原子及分子量级加工技术的发展, 如分子束外延 (MBE)、金属有机化合物汽相外延

(MOVPE)、液相外延(LPE)等方法,可将两种(或两种以上)不同半导体(或同种半导体的N型和P型)极薄层交替排列组成周期阵列超晶材料。例如,在砷化镓基片上,把镓、铝、磷、砷等相结合为多层堆积,通过不同掺杂,达到控制能带结构、带隙、能态密度、光学吸收系数、折射率等多种参数,从而获得多功能材料。这些具有优异的电、磁、光、声或超常的力学、热学性能的新型功能材料,种类多,用途广且自成体系,对信息技术及其新兴产业的发展起到了极大的推动和催化作用。

信息材料中还包括敏感材料、光导纤维材料、信息记录材料等,它们分别是信息探测传感器、信息传输和信息存取必不可少的材料,在民用和军用方面都大有可为。

新能源材料有光电转换材料、超导材料、高密度储氢材料 and 高温结构陶瓷材料,它们是为开发新能源而研制成的。例如,光电转换材料中,国外非晶硅薄膜于1990年在不聚集时的光电转换率达23%。

二是结构材料的复合化。结构材料在产业化中一直发挥至关重要的作用,从日常民用和工业、建筑,到汽车、飞机、卫星、火箭等,所有这些均以某种形式的结构构架获得其外形、大小和强度。今天汽车用的大部分结构材料为钢,飞机为铝合金,它们有其自身确定的强度/重量比值,强度的大小直接与重量有关,这在工程设计上矛盾的。当代新型结构材料的发展表明,追求高强度、高模量、耐高(低)温和低密度材料的方向就是结构材料的复合化。目前所谓的先进复合材料,一般是指具有比强度大于 4×10^6 厘米和比模量大于 4×10^8 厘米的结构复合材料。

结构复合材料由能承受载荷的增强体和能连结增强体成为整体材料,同时又起传递力作用的基体构成。增强体包括各种玻璃、陶瓷、碳素、高聚物、金属以及天然纤维、织物等,基体则有高聚物、金属、陶瓷、玻璃、碳和水泥等。通过复合工艺组合而成的这些新型材料,既能保留原组成材料的主要特色,又能通过复合效应获得原组分所不具备的性能,还可以通过材料设计使各组分的性能互相补充,从而获得优越的性能。以飞机为例,军用飞机已在承受轻载的结构中采用了复合材料;最近投入使用的波音777客机的结构重量中,9%是由复合材料制作的,相当于波音757和767客机的3倍。今后10年内,飞机结构设计师将与材料学家共同来降低机身和机翼的重量,一种很有前途的材料是铝锂合金,与铝合金相比其密度较低,强度更高,正因为如此,欧洲空中客车公司的A330和A340客机,其机翼前缘段就采用了铝锂合金。据报道,Alcoa公司还正在研制一种新的铝锂合金,其抗裂韧性要比现代的铝合金提高1/3以上。

复合材料设计中的仿生技术也是近来发展较快的一种技术。生物体(或生物材料)绝大多数是复合材料。以竹为例:管状纤维分散于基体中,由表面到里层——由细、密到粗、疏,分层螺旋状交替排列。另一例是鲍鱼壳,它是一种陶瓷基复合材料,由多层交错的碳酸钙(95%)和已知是控制碳酸钙生长的一层蛋白质薄膜(5%)组成。其断裂韧性比单块碳酸钙高10倍。人们按照这种结构由碳化硼和铝薄层构成的高温陶瓷仿制品,其断裂韧性比普通碳化硼—铝陶瓷合金高4倍。

材料发展中的一种新趋势是结构材料和功能材料的互相渗透,即结构材料的多功能化和功能材料的结构化。这正是材料发展中的综合集成。

除了上述材料技术两个方面的发展趋势外,还有以下两点值得注意。一

是高温氧化物超导体的发现和进展。1986 年，伯诺兹和缪勒发现临界温度为 35K 的镧钡铜氧化物超导体，在科技界引起巨大反响。不久液氮 77K 温区钇钡铜氧化物超导体被发现，随后短短几年内共找到 100 多种氧化物超导体，其中临界温度最高的已达 135K。虽然这种高温超导机制还有待深入探讨，但在应用研究上已取得不少重要进展。例如，现在已可以制造长度超过 1 公里的氧化物高温超导体长线，其临界电流密度超过每平方米 1 万安培。预期在继续研究克服若干技术、工艺障碍后，这种高温超导材料可在输电和磁悬浮等技术方面得到应用。

另一前沿领域是纳米材料，即晶粒尺寸一般为 10~100 纳米（ 10^{-9} 米）的材料。由于晶粒尺寸减小，其比表面能变化，使其对光、电、机械应力作用的反应能力与微米级、毫米级晶粒有很大不同，用纳米材料制造的成品具有一系列优异性能。例如，由纳米晶粒制成的铜，强度比通常的铜制品高 5 倍；纳米陶瓷制品与通常的陶瓷相比，能抗破裂。近年来国外已建立有专门经营纳米材料与技术的公司。存在的问题是纳米材料制备技术的产率还有待改进、提高。

4. 生物技术为农业、医药、化工、环保和国防的发展带来重大变革

生物技术是应用于有生命物质的技术。可分为传统生物技术和现代生物技术两大类。人类几千年来使用的酿酒、制酱、育种等是传统生物技术。近 20 年来，随着与生物技术相关的众多基础理论和技术以及试验手段的发展，传统的生物技术逐步走出被动、低效的状态，而发展成主动、高效的现代生物技术，步入高技术领域。

传统的生物技术因应用对象、目的的不同而分为发酵工程、细胞工程、酶工程和遗传育种工程几大发展领域。现代生物技术，按照现代高技术丛书《生物技术》卷编著者们的表述，是指运用现代生物科学、工程学和其它基础学科的知识，按照预先设计，对生物进行控制和改造，或模拟生物及其功能，用来发展商业性加工、产品生产和社会服务的新兴高技术领域。在现代生物技术中，有两项尤为引人注目，即基因工程技术（也叫 DNA 重组技术）和蛋白质工程技术。前者是随着生物学特别是分子生物学理论的发展和当代各种尖端技术在生物领域的运用而诞生的一种具有划时代意义和战略价值的高技术。它的产生彻底改变了传统生物技术的被动状态，使得我们能够按照自己的意愿改造生物种属。

世界上至少有 200 万种生物种属，生命现象的表现形式虽各不相同，但构成生命的物质基础都是一致的，即都是蛋白质、酶、核酸等大分子。生物种类之所以不同，就在于组成细胞中主要遗传物质 DNA 的基因不同。正由于此，有可能通过改变生物的基因组成，人为地改变生物的遗传特性，按照人的需要创造新的物种。

改变基因组成可以采用二种方法。一种是将不同生物体内的 DNA 分子取出，进行体外加工，构成新的重组 DNA 分子，然后再放回受体细胞内，使外源基因得到表达。这就是“基因工程”技术。另一种是通过移植染色体或细胞核，而达到转移基因，从而改变生物基因组成的目的。这就是“细胞工程”技术。通常将这二种工程技术称为遗传工程技术。

蛋白质工程于本世纪 80 年代初发展起来，它起源于细胞中 RNA（核糖核酸）催化作用的发展。这一发现表明，RNA 不仅是携带遗传信息的分子，也是一种生物催化剂。可借助现代科学技术手段，如计算机图像显示和辅助设

计等，提出新分子设计方案，以获得全新的蛋白质。

运用以基因工程为主导的现代生物技术可使许多领域产生前所未有的变革。例如，可为人类生产出各种动物蛋白、激素药物和抗病疫苗；可为谷类植株根部固氮，从而大大提高粮食产量；可从根本上治愈各种遗传病；可逐步解决环境问题；还可使一些生物产生甲烷、氢气等可燃性气体，增加石油产量等等。

至今，生物工程应用于工业化生产的，主要是微生物。微生物具有比表面积大（代谢活性强）、转化能力强、繁殖速度快（20 分钟一代，24 小时可繁殖成 4×10^{20} 个）、变导与适应性强、分布范围广等优势。应用于能源工业，通过微生物发酵或固相化细胞或酶的技术，可将绿色植物秸秆，木屑，工农业生产中的纤维素、半纤维素、木质素等废弃物转化为液体和气体燃料（酒精和沼气）。应用于冶金工业，发展出了细菌冶金技术，如利用氧化亚铁硫杆菌的氧化作用，可从含硫、砷矿化物的金矿石中除去硫、砷，浸取黄金。据报道，加拿大建有日处理 100 吨含金矿石的工厂，提取率近 100%；还可利用某些微生物的聚集和吸附黄金的能力。

用于化学工业，则产生了生物降解塑料技术。在一定条件下，如光、热、水分、氧等作用下，组成塑料的高分子链发生断裂，使分子量降低，伴随着机械强度、延伸率降低，到分子量足够低时，最终能被微生物所利用，这个过程称为降解。新型生物降解塑料可彻底消除由塑料薄膜引发的“白色污染”，具有价格低廉、不污染环境等优点，是替代不可分解的塑料的理想产品。

生物降解塑料主要有两类：一类是用生物或化学合成方法合成聚合物，如 PHB（聚 3-羧基丁酸酯）、PLA（聚乳酸）、PCL（聚乙丙酯）等。性能好，但价格昂贵。另一类是用天然产物（淀粉、纤维素、多糖的衍生物）与合成树酯的共生物。原料来源广泛，价格低。比如，“百康”淀粉降解塑料，由玉米淀粉、合成树酯、淀粉改性剂、增容剂、可逆交联剂和降解促进剂等添加剂，用双螺杆挤出机，经过熔融、混炼，形成共聚共混物。使用后废弃于土壤、垃圾等微生物较丰富的环境中，淀粉首先被微生物降解。据报道，该产品已远销台湾、泰国、日本、美国。

目前降解塑料只是刚刚兴起，生产量、使用量尚微乎其微。全世界每年包装业消耗塑料 3000 多万吨；若 30% 用降解塑料，则需近 1000 万吨，市场前景广阔。

目前还出现了一种所谓“EM 生物技术”。“EM”是“有益微生物群”（Effective Microorganisms）的英文缩写，用它萃取的“EM”粉（液）可降解土壤中化肥、农药残留的有害成份，不仅有助于作物增产，而且可避免环境污染。“EM”中有一种可能生存于 700℃ 以上高温环境的微生物，将掺有这种微生物的粘土烧结成“EM 陶瓷”，制成汽车油箱、发动机缸体的内衬，可以明显提高燃烧效率，减少尾气排放，净化城市空气。含有“EM 陶瓷”的再生塑料可用于加工能自行降解的保鲜袋，里面的大米可在 4 年内无虫蛀、不霉变。

生物技术也有广泛的军事用途。例如，开发生物传感器，提高对毒剂、炸药和麻醉剂的实时探测与识别能力，提高非声水下探测能力；研制特种生物材料，如单兵或集体防护用的自消毒材料的催化聚合物等。

总之，生物技术的冲击波将改变各种产业结构，改变整个工业、农业、

医药业的根本面貌，甚至将使政治、法律、伦理观念和人类文明产生新的变革。

5. 综合集成在工程技术最终转化为生产力过程中发挥着关键作用

当代工程技术发展的另一重要特点是，综合集成在工程技术转化为生产力的过程中发挥日益重要的作用，也是工程技术转化为生产力过程的最终的、最为关键的环节。综合集成可以弥补单元产品的不足；更重要的是，综合集成可以使原有的工业界限或极限不断得到突破。当代工程技术的竞争更多地体现在综合集成上。综合集成既是一门工程技术，也是一门艺术。综合集成是我们面临复杂工程系统挑战的工具，是方法论，也是实现工程技术向现实生产力转化的重要手段和途径。

综合集成包括以下几方面的工作：系统工程，软件集成，综合集成演示，科学的计划管理。

综合集成的事例很多。如柔性制造系统(FMS)可以把若干台数控加工系统、物件搬运系统、上下工件系统(回转式转盘和工业机器人)、立体仓库、优化调度(信息控制)系统综合集成在一起，形成较完整的生产体系。它能自动完成加工、装卸、运输、管理，具有监视、诊断、修复、自动转换加工产品品种的功能，并具有一定的柔性和灵活性，适合于多品种小批量生产。

80年代开始出现的计算机集成制造系统(CIMS)，又进一步将计算机辅助设计(CAD)与制造(CAM)、柔性制造单元与系统(EMS)和管理信息系统(MIS)综合集成起来，以适应市场竞争中多变化的需求，获得多品种、中小批量产品生产的高效益。

90年代又出现了并行工程(Concurrent Engineering)工作模式，对产品及其制造过程和支持过程进行并行、一体化设计、运行与管理。这种工作模式力图使开发者们从一开始就考虑到产品全寿期中的所有因素，包括质量、成本、进度和用户需求。它是一种新的系统工程管理方法，要求在产品开发的全过程中加强各部门之间的协同与合作，按并行方式而不是串联方式进行。它利用先进的计算机辅助工具，通过大量信息和数学仿真的综合集成，分析和预测产品开发全过程中的问题和“瓶颈”，并预先采取措施，从而达到质量、成本、进度和用户需求。

在军事领域里，武器平台和收集、处理战场信息情报的电子信息装备的大规模结合，是一项极大的系统综合集成任务。这样一种大规模的系统综合集成，是商业世界前所未有的。在美国国防工业独领风骚的那些公司，正是知名的系统综合集成商，而不仅仅是制造者。综合集成方法的实质是把科学理论和经验知识结合起来，人脑思维和计算机分析结合起来，个人决断与群体结合起来，发挥综合系统的整体优势。这对于作战指挥具有重要意义。

90年代末以来，国外许多大企业在R&D领域与其他企业结成技术联盟，分工协作，风险同当，利益共享，走共同技术创新的道路。如在“信息高速公路”技术方面，日本电气、东芝、日立和索尼等与美国太阳微系统公司、米普斯计算机公司、惠普公司等结成几十个技术联盟。在汽车生产领域，德国奔驰公司与日本三菱公司，日本丰田、铃木公司与美国通用汽车公司等等的技术联盟。这种技术联盟就是综合集成在经营管理上的应用范例。

对于综合集成的作用，国外一直比较重视。美国总统科技顾问及一些科学家提出：为了继续确保美国在工业上的领先地位，出路在于“综合集成”。德国《经济周刊》1994年1月14日刊登了一篇题为“系统时代”的文章，

讲到德国提出开发新技术不是只搞几项高技术，而是要系统配套，才能真正发挥作用。

二、应引起重视的几个问题

以上主要从技术的发展线索上，概括论述了当代工程技术的发展趋势。工程技术要得以顺利发展，除了技术本身的不断进步外，还有社会的、经济的因素在起作用。因此，在持续不断地推动技术进步外，还应注意考虑并解决好以下几个问题。

1. 可持续发展与保护全球生态环境

1972 年，国际上著名的未来学研究团体罗马俱乐部发表了一篇叫做《增长的极限》的研究报告。报告的一个结论是：“如果在世界人口、工业化、污染、粮食生产和能源消耗方面按现在的趋势继续下去，这个行星上增长的极限有朝一日将在今后一百年中发生……”，“工业的增长，最迟在下一个世纪内一定会停止”。

然而，70 年代中期以来，美国、日本和西欧发达国家的经济并没有沿着《增长的极限》所预言的轨迹发展。按不变价格计算，1980~1990 年，美国、日本和西欧国民生产总值（GNP）年增长率分别为 2.97%、8.53%和 1.02%。其中，工业产值年增长率分别为 2.66%、4.07%和 1.61%。而同期能源消耗年均增加分别为 0.49%、1.65%和 0.17%。

下面让我们来简单分析一下其中的原因。传统的工业化经济，表征经济增长的 GNP 的增长与每单位 GNP 使用的能源量呈平行增长的趋势。《增长的极限》一书也是遵循这一基本思路的。然而，在信息化经济时期，伴随 GNP 持续增长的是：单位 GNP 的能耗不再增长。因此，可以将 GNP 的持续增长以及同时期单位 GNP 能耗降低作为经济发展新时代的一个参考性标志。美、日等发达国家的这个转折点大致发生在 70 年代末，其产业结构的特点是 GNP 中服务业产值开始超过物质产品业产值。进入 80 年代后，美、日、西欧 GNP 迅速增长，而单位 GNP 能耗则大幅度降低。目前信息技术无论对采掘业、制造业、建筑业和农业等物质产值，还是对商业、运输、邮电、金融等服务业产值都起着重要作用。一些发达国家已将信息技术逐步形成一个最庞大的产业体系，其产值的增长速度已大大超过 GNP 的增长速度。据报道，1984 年美国信息类产品占非农业国内生产总值的比例已超过 60%。1982 年，全世界信息产业的产值为 2370 亿美元，1988 年上升到 4700 亿美元，预计到 2000 年可高达 35000 亿美元。

当代工程技术的发展，特别是信息技术革命，改变了《增长的极限》的预测，展现了一种与之不同的增长趋势。在稍后几年，罗马俱乐部的观点也有所变化。在其 1977 年发表的研究报告《超越浪费时代》中就得出比较乐观的结论：在日益膨胀的世界人口的需要不断增加的条件下，只要适当地利用科学技术的最新成就，人类在能量、原料和食物三个方面遇到的大多数问题都能得到解决。

罗马俱乐部创始人奥莱里欧·佩切依博士后来也表示，微电子学的出现“可能是人类历史上最伟大的革命”。罗马俱乐部主席亚历山大·金前不久指出：1988 年是历史上的转折点。事实上，这时各国领导人已认识到邓小平同志英明论断“科学技术是第一生产力”的正确性。

改革开放 18 年来我国经济建设已取得重大成就，为举世瞩目。但目前还

处于工业化阶段，第一、二、三产业整体素质仍较低，经济增长在很大程度上是靠资源消耗推动。能源有效利用率，中国约 30%，发达国家已达 40~50%；水重复利用率，中国只有 20~30%，发达国家近 70%；钢材利用率，中国不到 60%，而发达国家大于 80%。从单位国民生产总值（GNP）的能源消耗（折合为吨标准煤/百万美元）看，美国为 633，日本为 399，印度为 1548，而中国为 3165。

我国也是水资源贫乏国家之一，分布极不均匀，节水措施又很不得力。有些地方大量开采深层、难于再生的地下水资源，后果将是严重的。

就全球范围而言，能源的合理开发、利用，仍是非常重要的课题。一次性能源——煤、石油、天然气仍将占主要地位。但必需采取措施，保护生态环境。同时，要积极开发核能以及太阳能、风能、海洋能、生物能等新能源。

在核能利用领域，要大力改进现有成熟反应堆型的安全性能，实行模块化制造生产以缩短建设周期、降低成本和建设费用；同时还要积极研究、开发“洁净”核能系统，使它所产生的放射性废物、特别是其中的长寿命裂变产物和少量锕系元素在系统中被“嬗变”为短寿命或稳定核素。其中由不少科学家再次提出有发展前景的一种，是加速器驱动的次临界装置，由中能（1-1.5Gev）、强流质子加速器与次临界装置（热中子或快中子）相耦合，结合“原址”的放化分离流程所构成。

对有效利用能源、实施可持续发展等课题，各国科学家已有许多论述。在这里仅举一两例。

美国科学家 Robert A. Frosch 在《21 世纪的工业生态学》一文中提出：“一种干净而有效的工业经济，将是能模仿自然界具有材料（原料）再循环利用能力、同时又产生最少废弃物的经济。”因而，不仅在设计一种产品时要考虑制造、装配工艺，还应加上分解、再循环、适应环境等的设计。

这种思路，不仅是个设计、制造技术问题，而且也是个系统集成问题（例如企业集成）。

从自然界的生态系统看，一种生物体的废弃物，常常是另一种生物体的可用原料与能源。例如，微生物消化、分解工业有害废物，种庄稼施有机肥。

德国环境保护部部长 Henrich Von Levsner 认为，21 世纪的科技进步，对全球生态环境保护至关重要。能源的产生与转换是其中主要问题之一。德国可能在这方面作出重要贡献。例如，即使在欧洲中部地区，住房所需能源也可全部从太阳能获得。

在淡水的高效利用方面，德国的纺织工业已采用设备对工业废水过滤，经过滤后的水和过滤器内收集的化学添加剂均可再循环使用。不仅对改善环境有帮助，而且一年半时间就可回收设备投资。

有鉴于过去忽视环保、污染后再处理，既浪费钱又有害于社会的教训，德国 21 世纪的战略是：尽最大可能防止这种状况的出现。不得不产生的废物将受到严格限制，不允许对子孙后代构成危害。例如，对废物进行低温炭化热处理和高温下焚烧的处理方法，很快将在德国应用。

同时，制造商要将产品生产过程中发生的废弃物减到不可再少的程度，采用“接近最后尺寸的制造”。制造商要从法律上和经济上负责其产品的最终可处置性。

2. 经济可承受性与效费比高，是开发高技术产品的重要条件

（1）民用商品，正在实现这一要求

民用商品一方面要适应社会的需要，另一方面也必须以适当的、消费者可能承受的价格向社会提供。在商品投放市场初期，由于尚未被消费者所认同，一般产品批量不是很大，生产费用较高，因此效费比较低；但随着市场的开拓，必须以最大的努力来提高其效费比，把价格降到广大消费者能接受的水平。这里，市场预测及经济核算在开发高技术产品之前是至关重要的工作。

Motorola 公司称已研制成功迄今为止世界上最小的和最轻的移动电话，这就是该公司的 StarTAC。它仅有目前的寻呼机的大小，重 3.1 盎司，使用者可连续通话一小时。但它的价格很高（2000 美元），因而目前使用的人并不很多。

轿车是支柱产业之一，应否尽快发展，在我国尚有争议。从技术上看，发展方向可能是有利于环保的电动或电动 / 小功率内燃机驱动组合。上海科峰电动车公司和连云港江苏省太阳能研究所联合研制的“中国一号”太阳能电动轿车，用 10 个蓄电池和太阳能电池驱动，最高时速达到 88 公里。北京有色金属研究总院与北京工业大学、清华大学等单位共同研制的固体镍电池安装在小轿车上使用，时速可达 112 公里，充一次电可行驶 121 公里。但由于成本太高，经济上目前还未能达到消费者所能承受的地步，因此还不能大量推广。

可以预期，随着技术水平的不断提高以及广大消费者的日益认同，这几种产品终究可以达到经济上的可承受性及合理的效费比，从而占领市场。

(2) 某些高技术的开发也从过去只重视水平和能力转向强调经济可承受性

这方面在航天产品研制中尤为突出。航天技术既是综合性的高技术领域，也是耗资巨大的技术领域。一方面运载火箭是一次性使用，卫星发射费用巨大，另一方面卫星的技术越来越复杂，造价越来越高，且研制周期长，风险大。因而限制了航天技术本身的发展。

冷战结束后，各国政府迫于财政困难，对本国航天的经费投入呈减少趋势。在这种新形势下，过去那种由政府投资、单纯强调产品性能、忽视经济效益比的传统做法正被逐步抛弃。要继续发展和应用航天技术，就必须从观念上强调效费比，实现实在的产业化。

这种观念的转变，反映在以下三方面：

改变卫星的传统设计思想，发展经济实用的小卫星。随着微型计算机、微电子、微机械、高精度机械加工、轻型材料、新工艺等高新技术的发展，小卫星应运而生。所谓小卫星是指重量小于 500 公斤的卫星，其设计思想是简单化、功能单一化，其基本意义在于增加容量、确保性能、减少体积和重量、降低成本和风险。它具有重量轻、体积小、研制周期短、成本低、性能好等特点，政府、公司、大学和研究所等单位都可以参与研制和经营，因而易于实现卫星应用技术的产业化，并且正在实现产业化。

小卫星所具有的优点，决定了其特别适于在局部战争和突发事件中用于对战场和事发地区进行短期监视、跟踪与通信。俄罗斯已经把小卫星作为实用型战术通信卫星，每年至少发射 15 ~ 20 颗。美国继海湾战争期间应急发射两颗低轨道通信小卫星之后，目前正抓紧研制这类小卫星，供美国三军通信指挥使用。战术成像小卫星（如“观测镜” - [Eyeglass] ）的地面分辨率可以到米级，覆盖宽度几十到几百公里，相当于过去大型侦察卫星，而整星重

量在 200 ~ 300 公斤，工作寿命可长达 5 年。

变革卫星制造方法。美国 Motorola 公司以其高度竞争性的电子生产线而知名于世，该公司正在通过“铱”星计划推进卫星制造方法的革命。“铱”星系统由 66 颗低轨道卫星构成，准备从 1998 年开始提供世界范围内点对点无线通信服务。该计划完全是一种商业风险计划。按照传统的单件生产方式，同一时间只能制造两颗卫星，每颗卫星的生产周期大约为一年；Motorola 公司采用流水线作业方式，在同一总装生产线上制造 60-70 颗卫星，每颗的生产周期仅为 21 天。国外分析认为，“铱”星计划所采取的卫星制造方法如果获得成功，其意义就像亨利·福特当年发明汽车自动生产线一样重大。

发展更经济的卫星运载工具。高额的航天运输费用是制约航天技术发展的另一个重要因素。因为对任何实用型航天系统的基本评价原则是可靠性和费用——它决定着商业服务的成败。用户首先感兴趣的是可靠性和合理的发射费用，其次才是有效载荷容积和技术先进性。目前的航天运输系统主要是一次性使用的运载火箭，操作复杂，费用昂贵，发射准备时间长达数月，所需地面工作人员成千上万。在设计思想上，传统的做法是优先考虑性能，追求最大有效载荷，仅在运载器设计完成以后才对每次发射费用作最后的测算。而现在则不一样了，费用变得比性能更为重要。以降低费用、谋求像飞机那样运营为目的，以简化操作、硬件重复使用为手段的可重复使用航天运输系统，在一开始设计时就每次发射费用作为运载器概念设计和选择的主要准则，吸引了众多的私营公司竞相参与，为航天产品的产业化铺平道路。预计这种转变在不久的将来可开始实现。

总之，小卫星设计概念、卫星制造方法的变革，以及可重复使用的经济的卫星运载工具，正在打破过去航天产品单纯追求性能而不重视效费比的传统观念，给整个航天技术的发展注入了新的活力。

（3）重视发展两用技术，以实现国家对技术投资的高收益率

在工程技术迅速发展的今天，“军用”、“民用”的界线已变得越来越模糊。一方面，现有绝大部分军用技术都有潜力用于民品生产，为发展经济服务；另一方面，随着工程技术的发展，民用市场上也有更多的质优价廉的产品适合军事装备的需要。这表明，过去那种把为军事目的发展起来的新技术完全禁锢在军事应用的做法，已变得越来越不可取；现在则要求军事部门在开发新的军事工程技术之初，就应当考虑到该技术的民用前景，使之尽快转化为两用产品。过去那种什么都得从头做起、另起炉灶搞一套的做法同样也变得越来越不可取，现在越来越有可能充分利用民用技术的成果及其产品。正是这种观念上的转变促使世界各国越来越重视开发军民两用技术。

当前，科学技术实力已经成为决定国家综合国力强弱的重要因素，加速科技发展，提高科技竞争力，已成为各国普遍采取的战略措施。在此形势下，许多发达国家（如美、日、英、法等）竞相把发展两用技术作为国防科技发展的重要技术政策。加强两用技术的发展，可以促进国防和经济的协调发展，既有利于加强国防科技工业基础，又有利于增强国家经济实力，也是我国需要长期坚持的一项重要技术政策。

美国先期研究计划局（ARPA）1994 年 4 月提交众院预算委员会的报告中称：几年前我们的计划都毫无例外地集中于先进的能力。今天，我们的重点主要集中于经济可承受能力，着重发展制造技术和工艺以降低费用。

3. 深化改革，重视发挥人和管理的作用

江泽民总书记在 1995 年 5 月全国科技大会上的讲话指出 科技工作要始终把经济建设作为主战场，把攻克国民经济发展中迫切需要解决的关键问题作为主要任务。党中央、国务院《关于加速科学技术进步的决定》中提出：当前，要大力加强农业科技工作；要加快传统产业的技术改造，特别要重视用现代技术武装基础产业和支柱产业，加速实现经济和社会管理的信息化、自动化和智能化；要积极发展高技术，实现产业化；要十分重视解决环境保护、资源合理开发利用等社会发展领域的科技问题。

八届全国人大四次会议审议通过的《纲要》又一次明确提出：加大科技体制改革力度，加快改革和建立科研、开发、生产、销售紧密结合的机制，特别是切实“加强科研院所、高等院校和企业之间的联合与合作，推动以技术开发为主体的科研院所进入大型企业集团或转化为高技术企业，……努力使企业成为技术研究开发的主体。”

现代科学、技术、生产日益结合为统一体系，促进了科研、设计与生产部门的结合，产生了一种新型的组织形式——科研生产联合体。其主要任务是不断创新科技产品、提高产品的科技含量，缩短新技术的研究与应用周期，加速产业部门的科技进步。它一般包括从理论研究到生产应用各个环节的科研、设计和生产部门。它们通常以工业研究机构为核心，根据担负的不同任务选择组成单位，如科研、设计、工艺机构、实验室、实验厂、批量生产厂、调试和安装部门等。这些单位通过共同的目标联合在一起，完成理论探索—新技术研究—生产应用的全过程。为促进这种结合，国内已有不少城市组建了起“孵化器”作用的工业科技中心。

1993 年组建的香港工业科技中心公司（HK Industrial Technology Center Corporation）就属于这种性质，它在实现科技转移、转化及服务方面进行了积极的实践，取得了良好的效果。该公司的宗旨为协助香港工业界从劳动密集转型为科技密集。两年来已进行 3 项计划：（1）培训，即孕育从事开发高技术的企业，提供多种商务服务，以降低其开支成本，并提供有关市场扩展，财务、科技与管理的专业顾问与中介服务；（2）科技转移，产、学、研结合；（3）研究与开发的支援及服务（应用软件开发、多媒体、集成电路芯片设计等）。

要发展科学技术，加速科技进步，关键在于人才。谁培养并拥有最优秀的人才，谁就能在未来的竞争中取胜。西方各国都十分重视科技人才的培养及引进，在世纪之交，纷纷对 20 世纪、尤其是二战以来的国内教育体制进行认真的总结，学习其他国家在教育上的优势与经验，研究改革的方向与措施，以达到优化人才培养机制的目的。我国也有许多教育界、科学技术界的人士十分关心这个问题。

在工程科技人才培养与教育改革方面，有以下几点应引起注意并认真进行探讨：

（1）当今的科学技术发展十分迅速，新技术、新设备不断涌现。人才培养尤其是工科教育必须适应这种情况，学校教育要注意不断用新的知识和理论来武装学生；但又切不可忽视学生对基础科学课程的学习和掌握，因为这是培养自主创新能力所不可缺的。另一方面，知识的更新、新技术的掌握，也不可能全都依赖学校，而应通过对于工程技术人员继续教育和在实践中自学来解决。

（2）当今科学技术的发展，不同学科相互渗透的趋势日益明显，在教育

及人才培养中对复合型人才的需求也在增长。例如，为发展分子器件、纳米生物学等，要求骨干人才既懂得生物技术又懂得微电子学；在开发 CIMS 及 FMS 时，要求主要人员既是机械制造与自动控制方面的专家，又熟悉和掌握生产管理的知识。教育界要为企业与科研部门培养更多的各类复合型人才，以适应这方面的需要。另一方面，即使复合型人才具有较宽的专业知识面，也不可能对新技术所涉及的各有关领域的知识都掌握，还必须提倡各种不同专业类型人才的配合与互补，实行科研人才上的综合集成，大力倡导并积极创造有利于人才结合的机制。

(3) 在培养人才中，要重视利用信息技术创造出来的新的教育媒体与工具。比如，多媒体的计算机辅助教学系统(CAI)，INTERNET，交互式广播电视网等，以提高教育的效率、效果。

另外，当代工程技术的发展与现代科学管理和科学管理的发展息息相关。它们相互渗透，相互促进，相辅相成。

人类在从事生产斗争的漫长历史进程中，从早期的经验管理，到 20 世纪初的科学管理的理论和方法在实际中应用，发展到今天，把科学管理原理与战略、战术、方针、政策等的研究结合起来，加上利用电子计算机等最新的科学技术成就，逐步形成了一门新的科学，即管理科学。工程技术的发展需要科学的管理，更需要对复杂的系统工程进行科学的综合性的管理。

邓小平同志在南巡讲话时指出：“社会主义要赢得与资本主义相比较的优势，就必须大胆吸收和借鉴人类社会创造的一切文明成果，吸收和借鉴当今世界各国包括资本主义发达国家的一切反映现代化生产规律的先进经营方式、管理方法。”江泽民同志号召“我们不但要大力培养各类科学技术人才，还要注重培养善于进行现代经营管理的各类专家”。朱镕基同志在 1997 年 7 月召开的管理科学学科发展座谈会上讲话，对国家自然科学基金委员会管理科学组升格为管理科学部这一举措给予了很高的评价，并强调指出：科教兴国，包括自然科学和社会科学两个方面，当然也包括了管理科学；要大力宣传加强企业的经营管理，要大力提倡振兴中国的管理科学，要总结中国管理实践的经验。遵照这些重要讲话指示精神，在走向 21 世纪的今天，需要我们各级领导干部在努力学习现代科学技术知识的同时，积极学习并逐步掌握现代科学管理方法，用现代管理理论来指导实践工作，以进一步提高管理、决策水平。

当代工程技术的发展，已改变了人们生产和社会生活的许多方面。可以预期，随着工程技术的进一步发展，人类将创造一个更加美好的明天。我们相信，在党中央、国务院的正确领导下，我国工程技术界将努力拼搏，提高我国工程技术水平，为实现我国跨世纪的宏伟蓝图作出更大贡献。

高科技和基础科学的关系及 它们对国防和经济发展的影响

周恒

天津大学

周恒 力学家。1929年11月21日生于上海市,1950年毕业于北洋大学。历任天津大学力学系主任、研究生院院长(现任该校教授),并任亚洲流体力学委员会副主席、国务院学位委员会力学学科评审组召集人、国家教委工程力学专业教学指导委员会主任、中科院非线性连续介质力学开放研究实验室学术委员会副主任等职。1993年当选为中国科学院院士(学部委员)。主要从事流体力学的研究与教学并取得多项重要成果。

在当今暂时没有大战危险的情况下,国与国之间的竞争在很大程度上表现在对人才的争夺及抢占科学技术的制高点。即使国家小到如新加坡,也在这方面不遗余力地在进行努力。

科学技术包含的面很广:一头包含着数学、物理学、化学、天文学、地学、生物学及力学等基础科学,另一头则包含着所谓的高科技。中间还有广大的其它科学技术。

如果以“863计划”包含的内容来看,高科技包括航天、信息、能源、自动化、激光、材料及生物技术。但实际上不止这些,例如航空也是高科技。研究这些高科技的最终目的,是要形成直接可以应用的产业。高科技产业的形成,一方面将大大改变人类的生产及生活水平,同时也将产生巨大的经济效益。因为高科技产业中包含着由于科技知识及手段带来的高附加值。例如在生产过程中增加的附加值,科技含量在其中所占的比重,汽车行业是25%,钢铁行业是29%,而航空业则达44%。有资料表明,如果以单位重量产品价值来比较,以船舶为1,则小汽车为9,彩电为50,电子计算机为300,喷气式客机为800,航空发动机竟达1400。尽管这种比较有失全面,但也从一个侧面反映了科技含量对产品价值形成的影响。

作为一种产业来说,高科技产品必将带来巨大的利益,因为其科技带来的附加值高。但是,有高科技产业的地区或国家,本身并不一定能直接得到这些巨大的经济效益。关键是看谁提供的科技含量,谁拥有这些高新科技的知识产权。例如,我们可以从国外引进一条有高科技含量的生产线。十几年以前的彩电生产线就属于这一类(现在彩电技术已不属于高新技术了,除非是未来的高清晰度彩电)。但是,真正的高额利润是被掌握其关键技术的外国公司拿去了,国内的厂家只能赚中国人自己的钱。美、日、法、德等国,高科技产品出口占这些国家出口总值的比例,分别达40%,40%,20%,20%左右。所以,即使从经济角度看,也要有自己的高科技知识产权,更不用说还应从国防上考虑,如果没有自己的高科技,往往要被动挨打。1991年海湾战争,西方国家在38天空袭中,就摧毁了伊拉克1/3的坦克大炮,瓦解了10万部队。只经过短短的100小时的地面战争,自己仅伤亡了79人,就战胜了伊拉克。这其中的重要原因之一,是高科技发挥了很大作用。所以美国即使在目前军费大量削减的情况下,仍继续实施耗资588亿美元的先进隐形战斗机F-22的研制计划。

基础研究以认识自然规律为目的，不从事产品生产，看起来没有直接经济效果。但实际上并非如此。日本东京在 1926 年由于关东大地震，在第二次世界大战中又由于遭受盟军轰炸，房屋两次都大部被毁。由于东京是地震多发区，战前不允许建高楼。但是力学研究的结果改变了这一观念。现在东京高楼林立，其房地产的价值当以万亿美元计。没有这一改变人们观念的研究，就不可能形成这么大的产业。又如石油开采，按通常的办法，即自喷、抽取、注水等办法，只能将约 35% 的储量开采出来。经过对多孔介质中油、气、水在不同物理、化学条件下流动规律的研究（细观渗流力学的研究领域），现已有可能采用注入有特定物理、化学性质的液体，多采出 10% 储量的原油。这也是一个有巨大经济效益的基础研究成果。

高科技和基础研究似乎是科技发展的两端，但事实上又是紧密相连的两个部分。只要分析一下高科技的内容及其形成就会发现：（一）高科技都是一种综合性很强的科技，需要多学科的支持。例如航空、航天就至少要有力学、材料、机械、自动化、电子、燃烧等学科的支持。信息科学至少要有物理、材料、精密机械、自动控制、数学（信息论）等学科的支持，等等。（二）高科技都是在基础科学的某一方面有重大突破之后产生的。例如，在有关高速运动流体的规律上有突破性的新认识后（空气动力学、高速空气动力学、稀薄气体动力学等），才形成了现代的航空、航天技术；在凝聚态物理（当时固体物理）中没有对半导体的突破性认识，就不可能有今天的半导体器件，包括大规模及超大规模集成电路的出现，也就不可能有现代的信息产业；激光技术也是在凝聚态物理的突破性研究成果基础上形成的。（三）高科技不但在形成时依赖于基础科学的突破，而且在其成长过程中，仍要不断依靠基础科学的新成果。航空、航天技术的进一步发展，离不开力学的继续发展。能多次使用的空天飞机，能超音速飞行的大型民航机，这些新一代的新技术，已经向力学提出了许多新的问题。不解决这些问题，就无法实现上述目标。集成电路的集成度已逐渐接近于其极限，计算机能力的进一步提高，也期待着物理学上新的突破。

高科技和传统科技还有一点不同：传统科技的发展多少有点渐进式，其发展在依靠经验的成份上远大于高科技；高科技是前所未有的产业，没有多少经验可以依靠，几乎每一步进展都离不开科学的发展。由此可见，高科技和基础科学看似两个不同的部分，实际上离开了基础科学的发展，是不可能形成高科技的。当然，现代很多基础科学的研究已是“大科学”的研究方式，需要大型、精密的仪器设备。而这些仪器设备则又是高新技术发展的成果。没有计算机的发展，很多科学问题无法精确计算，甚至于一些经典的数学难题，没有计算机的帮助也很难解决。所以基础科学的发展也离不开高科技的发展。

高科技在战争中的作用，已经为海湾战争所证实。其实有些基础科学的研究也能起很大的作用。例如，第二次世界大战中，盟军不断地破译了德、日所用的通讯密码，对取得战争胜利起了重要作用。其中数学研究的成果是关键，不少数学家直接参与了具体的工作；我国原子弹、氢弹的研制成功，至少有一半的功劳要归于参加研制工作的物理学家、力学家等等。当然，这些研制的过程，不是这些学科已有成果的简单运用，而是要不断解决新的问题。未来的战争中，信息战是一个重要方面，相信数学家又将发挥重要作用。

由以上一些例子可以看出，发展高科技和重视基础科学是一个事物的两

个方面，缺一不可。

为了发展高科技，还有一些概念要弄清楚。高科技综合了多学科的成就，所以同时也是知识密集型的。但知识密集的科技不一定能称为高科技。因为高科技带有某种突破性，从而在知识的某些方面具有垄断性。因此高科技是买不来的。没有自己在知识技术上的突破，就只能永远跟在别人后面，买一些过时的二手货。

高科技的发展，至少是其中某些方面的发展，例如自动化及信息技术的发展及大量应用，是否会造成失业，是人们关心的问题。有人就不愿意“过早”地用自动化替代劳动密集型生产。自动化和信息技术的发展，当然会在某些方面减少对普通人的需求，但是它们同时又会造成很多新的就业机会。自动化要有必要的新设备、新仪表，这就需要新的行业。问题是这些新的行业要求从业人员有新的知识和技能。所以作为领导来说，必须重视在职人员的再教育，否则就不能适应科技日新月异的发展。美国现在的科技水平远远高于它在二次世界大战前的水平，人口也比那时增加了约 1 亿，但现在的失业率却低于当时的水平。这不仅证明了科技的发展会创造很多新的就业机会，也说明了美国由于教育的普及和对再教育的重视，人们适应新工作的能力相当强。反看我国，除了教育不够普及外，在很多工科大学教育中，还沿袭着过去从苏联学来的以产品为纲的培养模式。例如为了发展汽车工业，就兴办汽车专业等等。殊不知任何一种大的产业，都要依靠多个学科的支持，一个人是不可能全面掌握全部知识的。而这种以产品为纲的培养模式，束缚了人的思路，会妨碍新产业的形成，也不利于为适应新产业而对自己工作性质的调整。

我们还可以举化工为例。不少人都以为化工主要是化学的问题。其实化工的化学问题在实验室里就已经解决了，真正的问题出在：要在连续不断的过程中大规模地、动态地完成指定的化学反应及其它物理过程，如分离、淬取等。而这里正是因为物料的流动、混合等过程不清楚，妨碍了不经小试、中试等过程就直接完成大规模生产。所以化工的发展很大程度上有赖于流体力学的发展。同样地，未来生物技术运用于大规模产品的生产时，也会遇到同样的问题。利用细胞工程来生产某些特定产品时就会遇到培养液流动时的应力对细胞生长甚至生存的影响这一问题。这在国外已经引起了注意，不少力学工作者正在从事这方面的研究。即使限制在生物本身，也同样有一个不能仅仅限制于生物学领域的问题。例如人类骨骼的生长是在受力状态下完成的，而骨骼的主要作用又是承受外力，研究这一问题不能不考虑到受力状态的影响。

总之，我们的看法是：高科技和基础科学是不可分割的两部分。现代科技，尤其是高科技，是综合性的科技，不是靠单一学科可以形成的。科学技术的发展，归根到底要由高素质的人去完成，科技发展带来的生产上变化也要求生产者有更全面的知识结构，教育和再教育的作用是不能低估的。作为领导来说，必须对科技的发展有一个较全面的认识，能够制定出一个既有重点，又比较均衡的科技发展政策，同时十分重视教育。只有这样，中国在 21 世纪才能在世界上取得其应有的地位。

放射性“洁净”核能系统

丁大钊

中国原子能科学研究院

丁大钊 核物理与高能物理学家。1935年1月12日生于江苏苏州，1955年毕业于复旦大学，1956年至1960年苏联杜布纳联合原子核研究所进行高能物理研究。现任中国原子能科学研究院学术顾问委员会委员兼中科院高能物理所北京正负电子对撞机国家实验室副主任。1991年当选为中国科学院院士（学部委员）。主要从事核物理与高能物理等方面的研究并取得多项重要成果。

能源是人类社会发展的最基本要素。自工业革命以后，一直以化石燃料作为基本能源，利用燃料发电是现代能源供应的基本形式。在世界范围内，燃煤发电大体上占50%，在我国可能要达80%强。燃煤是全过程污染的能源；燃后小范围的粉尘直接危害人民健康、大范围的酸雨破坏生态平衡，由于排放 CO_2 而引起全球性的温室效应，后果更为长期。统计资料表明，工业革命后，大气中 CO_2 浓度的增加与全球平均气温的上升有正相关是确定的事实。可持续发展战略把生态平衡、环境保护提到极度重要的地位，我们要为后代留下一个洁净、协调、美好的地球，对“洁净”能源的研究与开发就成为首要任务。所以说，“洁净”能源问题的提出是社会发展的需要。人类从自然界获取赖以生存的一切，经使用与消费，又把其一切“剩余”返回自然界，如处置不当，则会破坏自然界的平衡，影响社会的继续发展。

煤的洁净化燃烧技术正在研究、开发中。但值得注意的是煤的资源有限。以我国为例，如果依报道的地质储量1万4千亿吨为准推算，可采储量大体折合五六千亿吨标准煤。我国人均能耗是世界平均值的五分之一。如果到2030年，我国人均产值要达到当前中等发达国家水平，取能源增长与GNP增长比（弹性系数）为1.5，在采取强有力的节能措施条件下，也需把能源供应量从目前的十几亿吨标准煤提高到四五十亿吨煤！则煤的储量只够百余年之所需。

可再生能源中水力当然是首选。水承担着发电、灌溉、航运等多种任务。我国是一个水资源贫乏的国家，据报道一条河流合理开发、利用的水流量应为总流量的三分之一。黄河上游开发了不少水利设施，但近10余年来，年年在下游断流，且有越来越烈的趋势。这也许对我们有所启示。再则水源受环境影响而不稳定，我国大部分水力资源在荒无人烟的横断山脉，开发难度大，因此可以预期我国水利资源的开发规模比不上俄、美等国的水平。

风能、潮汐能、太阳能发电因其单位质量或单位面积的“出力”较小，生物能的利用也只适于小规模的开发。因此，这类能源适于在某些条件合适的地区作为补充。

下世纪“洁净”能源的优先选择将是核能、核能发电。核能有裂变能与聚变能两类。裂变能是重原子核在中子轰击下分裂成两个中等质量的原子核时有一部分质量转化成的能量，此过程中还生成几个中子。在一定条件下，这些中子又引起其他重原子核的裂变，称为“链式反应”，因此，源源不断地提供核能。示范性的核电站在50年代中期建成，到70年代，核能发电已

成为一个重要的产业。聚变能是两种氢的同位素（氘和氚）原子核在高温、高压的一定条件下，聚合成氦原子核，同时放出一个中子的反应。可利用这个中子，从锂-6 生产聚变燃料氚。这反应中，也把一部分质量转化为能量。不可控的聚变反应早已应用于军事目的，但可控地释放聚变能的反应装置，从物理问题、技术条件、装置系统等方面都还在研究中。这项研究从 50 年代开始，在美、英、日、俄等国均已花费了大量资金，但离目标仍然很远，目前有各国进行联合研究的趋势。对于聚变能的商业化应用的前景有种种估计，可能比较适当的估计是在下世纪中叶，所以近几十年间所谓核能仍然是裂变能的应用。

释放核能的装置称反应堆。根据反应堆内引起裂变反应的中子能量，分为热中子反应堆及快中子反应堆两大类，二者中子能量差千万倍。热中子反应堆中只能利用占天然铀资源 0.75% 的 U-235 同位素，因此资源利用率不高；也可能用不可裂变的 Th-232 转换为自然界不存在的 U-235 可裂变同位素，这个过程称核燃料增殖。但由于历史及技术原因，这条技术路线迄今尚未充分研究及开发。快中子反应堆中每消耗一个 U-235 核，可从不可裂变的占铀资源 99.25% 的 U-238 中增殖 1.6 个自然界中不存在的 Pu-239 核燃料，是充分利用铀资源的一种途径。

快中子反应堆有时又称增殖堆。经过 40 年的研究与开发，现在法、日、英、美、俄等国已建成了相当规模的示范性发电站，但其安全性与经济性尚待进一步论证。当前形成产业，发电成本低于煤电的有几种类型热中子反应堆电站。已在我国运行的秦山核电站和大亚湾核电站是热中子反应堆中安全性最佳、国际上积累运行经验最多的加压轻水堆核电站。我国的实验性快中子增殖堆工程亦在“863”计划支持下开始启动。因此，我国核电技术已有了相当基础和良好的开端。

核电有很多优越性。

首先，单位质量出力大是核能突出的优点。1 公斤 U-235 裂变所产生的能量相当于 2800 吨煤的燃烧能。因此，同样功率的煤或核电站用于燃料运输及其配套条件与运行费差别极大。虽然核电站基本建设价高于煤电站，但综合起来，核电电价低于煤电。

其次，资源充分。按国外资料估计，在假设全球能耗要求相当于当前美国耗能的 100 倍条件下，只计及陆上地壳中 U、Th 及可产生氚的锂贮量（理论贮量）均可分别满足 500 万年左右的需求。这当然仅是个示意性的估计，但核能资源比化石资源更能充分满足人类发展所需则是可肯定的。

再次，废物的绝对量少。因此，可以集中管理、处置，短期内对环境的危害也相对较小（存在的问题将在下面谈到）。

据国际原子能机构 1995 年发表的统计表明，到 1994 年底，核电占全世界发电量的 23.16%，其中几个大户是美-21.98%、日本-30.70%、法国-75.29%、加拿大-19.07%、瑞典-51.13%、西班牙-34.97%、韩国-35.48%。这说明核电已是世界主要发达国家能源构成中的支柱。据另外统计资料表明，除韩国以外，这些电站大多数均始建于 80 年代初期之前。目前，核电站建设似有一个“低谷”，在建电站的装机容量只占已建成数的十分之一弱。这可能由多种因素综合而致。例如，石油危机的缓解；三里岛与切尔诺贝利两次电站事故对公众及政治家的影响，某些国家中绿党势力的影响；核科技与工业界对更安全的反应堆的开发周期等等。但从资料中可以看出，法、日两家

仍将持发展核电的政策，发展中国家及初步发达国家（或地区）也在努力开发核电。

目前，我国核电占发电总量的 1.49%。如果根据上述的发展趋势看，“洁净”能源以洁净煤燃烧技术、水电及核电为支柱的话，则我国核电必会有很大的发展。

当然，我们也要看到，核能也存在一些问题，主要有以下四个方面。

- 一、热中子反应堆电站的资源利用度低；
- 二、反应堆燃后卸出的乏燃料中，含有放射性寿命极长、毒性大的废物，其最终“处置”技术尚待解决；
- 三、安全性还应进一步提高；
- 四、要符合核不扩散的要求。

前三者属原理及技术问题，后者则还有政治因素。

几十年来，核科学技术工作者为解决这些问题，分别地进行了许多研究工作，取得了相当的进展。

快中子增殖反应堆把 U-238 转化为 Pu-239，经二三十年运行后，系统即可以用增殖所生的 Pu-239 自持运行，铀资源利用率将提高六七十倍。这是一个技术上已验证了的路线。但快堆的启动要以大量浓缩 U 或 Pu-239 为依托，在热中子电站乏燃料中未积累起足够的 Pu-239 库存前，快堆难以大量发展。

热中子电站燃后的乏燃料中，除含可经后处理回收的 U、Pu 之外，还有两类“废物”留存在后处理的高放废液中。一是比 U 原子序数高的锕系核素，记为 MA。二是裂变产物，记为 FP，属于衰变核，其中一些核的寿命也相当长。这二者成为难于最终处置的高放废物。以 MA 的 Np-237 为例（寿命 214 万年），一座 1000MW 压水堆电站年卸料中含量约 10 公斤，要用 6000 万吨水稀释后，才能达到排放标准，长期贮存则有向生物圈泄漏之虞。FP 中以 Tc-99 为例，年产量为 19 公斤，寿命为 21 万年，如稀释则需用水 3000 万吨！从放射性强度讲 MA 的危害比 FP 更大，经 1000 年存放后，MA 比 FP 强四万倍。目前，一般认为比较可行的处置高放废液的方法是：暂存-固化-包装-深埋。即暂存一段时间，待其中短寿命核素衰变后，用玻璃或陶瓷使其固化，经多层包装后，深埋入远离人群的稳定的地层中。其基本要求是多层包装在极长时间内不被腐蚀且地层在数百万年间是“稳定”的，但这一点人类还不能判断。因此，仍有泄入生物圈的潜在风险。

反应堆是个中子倍增系数等于 1 的自持系统，因此原则上仍存在发生核事故的可能性。现在反应堆技术已经采取了多重保护、纵深设防的措施，核安全是有保障的，且仍在不断改进、提高中。但由于三里岛、切尔诺贝利事故后，公众对其关心成为一个热点。尽管这两次事故均非核事故，但要使核能成为公众“放心”接受的一种平常的能源，最好构建一个“自动核安全”的核能系统。

这就是近十年来发展的放射性“洁净”核能系统。这个系统将把提高资源利用率、减少放射性废物量、根本上改变核能系统的安全性三个问题一并解决。同时这系统也不会产生导致核扩散的敏感核材料。

要充分利用铀资源，必须使核燃料增殖。除利用快堆增殖外，从 60 年代末，即有利用中能强流质子加速器产生的快中子，经一定慢化后，把 U-238 转化为 Pu-239 的设想。但按当时的概念分析，所要求加速器的功率为那时技术上能达到的几万倍。因此，这条技术路线被搁置了许多年。80 年代中期以

后，随着加速器技术的提高和增殖系统概念的发展，核科学工作者发现，从加速器技术讲，功率与目前已达到的差 10 至百倍，而且增殖系统是一种在核工程上相对成熟的堆型——次临界装置，因此重又开始把加速器转化核燃料技术引入核能系统的研究。

80 年代以来，形成了一种新的技术路线以处理高放废液，称分离-嬗变（P-T）法。即用放化方法从废液中高效率地分离、提取 MA 和 FP，经加工成组件后，置入某种核装置中，用中子轰击，经核反应使 MA 变成可裂变核，这样不仅“焚烧”了 MA，而且使 MA 成为附加的能源供应核素；FP 在吸收中子后，嬗变为稳定核或短寿命核。高放废物经分离-嬗变后则成为相对较易处置的低放废物。P-T 法是一条极有生命力的处理核废物的技术路线。至于反应堆系统，如果它的工况处于中子倍增系数小于 1 的次临界状态，在无外源中子作用下，它是不能维持链式反应的，所以次临界装置是一种“天然”核安全的系统，在技术上是相当成熟的。

放射性“洁净”核能系统是集中以往核科技、工程界研究和开发的成果，而形成的一个新型的核能系统构想，它具有的基本性能归纳为：

1. 充分利用资源，系统具有转化核燃料的能力，在系统中，把不可裂变的 U-238 核素转化成一个稳定的 Pu-239“库存”，并为 Th-U 资源的利用开辟新途径；

2. 系统具有嬗变核废物的能力；

3. 结合“原址”的放化处理装置，使核燃料循环过程尽量少与环境接触，系统排放的是低放、低毒的废物；

4. 系统具有“固有”的核安全性；

5. 系统有高的能量输出，并有长的运行周期。一次装料后，可以连续运行若干年（例如 5 到 10 年），使系统有高的负荷因子。

简言之，放射性“洁净”核能系统是一个充分利用资源，不排放高放、高毒废物且有自身核安全性，原则上不存在核扩散问题的新型核能系统。它将填补聚变能在商业性广泛应用前对核能的需求，且易为公众接受的具有良好资源效益、环境效益、安全效益、经济效益与社会效益的“新一代”核能系统的技术途径。

放射性“洁净”核能系统的构成由四大部分组成。

驱动器：

提供外加中子源的中能强流质子加速器。1GeV 的质子在重原子核的靶上通过散裂反应，可产生 30~40 个快中子，产生每个中子的平均能耗为 25~30MeV，是迄今我们所知产生中子能耗最“经济”的一种中子源（实现点火后的聚变反应除外）。

中子产生器：

是具有特定性能及构形的产生中子的靶。它是驱动器与系统的产能核心——次临界反应堆的耦合部。它决定外源中子的产额、能谱、空间分布、质子束功率的耗散等对系统性能至关重要的参数。

次临界反应堆：

这是系统的核心。外源中子慢化到所需的能量及空间分布后，核燃料的转化、核废物的嬗变、决定允许的燃耗深度、能量的产生及传输等过程都在其中发生。次临界反应堆有热中子次临界反应堆及快中子次临界反应堆之别，由系统设计的性能要求而定。

“原址”放化分离设施：

根据系统设计的具体结构，或是在线“实时”，或是“离线”处理次临界反应堆排出的放射性废物，把其中长寿命的 MA 及 FP 经一定加工后，回送到反应堆中被嬗变。

这个系统中，最关键的设备是中能强流加速器和次临界反应堆。不论系统的具体结构如何，向系统输入的是电能及“原始核燃料”（天然铀、贫化铀及一定百分比的 U-235 或 Pu-239），而系统输出的是电能与低放废物。这就是所谓“洁净”的涵义。

放射性“洁净”核能系统所涉及的基本物理过程是熟知的，其中绝大多数已有定量的数据，可以作为研究、分析的基础。例如，非裂变核在中子核作用下转化为可裂变核，已在热中子堆、快中子堆中实现；长寿命核废料在中子作用下，嬗变为可提供“附加”能量增益的裂变核（指 MA）或是稳定（或短寿命）衰变核（指 FP），在实验室内亦已常规地研究过。因此，根据核素演化规律，这系统中的核过程是可以定量地计算的。

事实上，从 50 年代开始，核物理工作者已提出了嬗变这一概念，并分析了光核反应、中能质子直接轰击等过程，最终一致认为利用中子核反应嬗变是最有效的。在 80 年代的文献中，有称这过程为“灰化”或“焚烧”的，并分析了利用反应堆来实现嬗变的可行性。在 90 年代前期，核科技界的多数人认同于利用加速器驱动的次临界反应堆是最有希望的技术途径，近些年来举办的系列国际会议称之为“加速器驱动嬗变技术”。因此，这一核能系统概念是依托以往长期基础研究的积累而形成的。

从高放废液中，以极高的回收率分离 MA 的放化工艺流程是后处理回收 U、Pu 的自然延伸。美、日等一些国家于 70 年代即已开始进行研究，法、德、意等国也开展了不少工作，现在发展湿法为主的流程，均各有特点。我国的放射化学家也提出了一种流程，受到国际同行的重视。现在的问题在于要使回收率达到 99.9%，甚至更高，则还要求做进一步的努力。

分离-嬗变的技术路线是有坚实的物理与放射化学基础的。

中能强流加速器及次临界反应堆是这个核能系统的关键装置。

根据不同设计，系统对驱动器（即加速器）的能量要求一般约在 1-1.5GeV 间，而束流强度要求则在 20mA-200mA 间，这一流强指标与目前运行近 20 年的加速器有 1 至 2 个量级的差距，这在技术上及加速器物理上是个挑战。对于这样强流的加速器有两个基本要求：1）高效率，即从电功率转换成束功率的效率应达 40%-50%，比现在已达到的要求高 1 个量级；2）低束损，即束流在加速器结构及输运过程中的损失要少，不然会在加速器中引起严重的感生放射性，影响运行与维修。理论上要求束流传输 1 米的损失不大于千万分之一，这比现在已达到的要求高 2 个量级。目前的技术在高效率转换电功率方面已有很大进展，对于低束损问题正在开展理论及实验的研究。

次临界反应堆是比较成熟的技术。不同的系统设计对于次临界反应堆中的中子注量率要求在 10^{14} 中子/平方厘米-秒到 10^{16} 中子/平方厘米-秒间。一般处理 10^{14} 或 10^{15} 的中子注量率水平，堆工技术是成熟的，但对于 10^{16} 则会遇到一些新的堆物理、工程技术及材料等方面的问题。从更有效地嬗变 MA 的角度看，希望反应堆中的中子能量比目前技术上成熟的钠冷快堆更高一些，因此有人建议用铅作慢化与载热剂，这当然是一项新技术。由于铅有低熔点、高沸点、化学性能稳定的优点，所以有些国家正拟议在快中子反应堆

中开发这项技术。

从总体上讲，放射性“洁净”核能系统是一个新的概念，一条新的技术路线，但它是在过去长期核科学研究、核能开发、核工程建设基础上发展起来的。

可以取能量增益因子 G （系统输出能量与加速器束能之比）作为衡量系统效益的一个指标，而第二个指标是嬗变废物的能力（以被嬗变废物的等效寿命或被嬗变核素的绝对量计）。当 $G=1$ 时，可看作为物理上的“得失相当”；但反应堆输出的热能转换为电能的效率一般为 33%，加速器效率取 45%，因此技术上的“得失相当”应为 $G=7$ ；此时并无实际可应用的电能输出；如果以大于 80% 电能上网作基本要求的话，则 G 必当大于 30。但根据系统设计的要求，在 G 因子及嬗变能力之间将有所折衷。

国际上目前对放射性“洁净”核能系统的研究处于对系统的概念进行研究的阶段；对某些必须解决的技术关键则在进行小规模的技术探索性预研，例如强流加速器及放化分离流程等。

由于一些核能大国已积累了相当数量的放射性废物，其最终处置的问题将影响今后核能的发展，因此美、俄、法、日等国都制定了加速器嬗变废物的研究计划，并提出了目标性方案。在 1994 年底，西欧核研究中心的卡·鲁比亚小组提出一个与分离-嬗变概念不同的概念，称为能量放大器。鲁比亚是一位获得诺贝尔奖的粒子物理学家，他从在研制高能粒子探测器时发现的一种能量增益的现象得到启发，进而发展了能量放大器这一新型核能系统的概念，并提出了一个目标方案。

下面概略介绍美、日及西欧 3 个方案。

美国：由洛斯-阿拉莫斯国家实验室的核物理学家及加速器专家提出了一个“加速器嬗变废物”（ATW）计划，由一台 1.5GeV、125mA（或 0.8GeV、250mA）强流加速器，轰击铅靶与一座分成内、中、外 3 层同心柱状活性区的熔盐型热中子次临界反应堆构成。反应堆外层用重水慢化，温度为 70℃，Th-232 在其中转化为 U-233，通过在线放化处理，把 U-233 燃料馈入中层，此处为熔盐型堆，温度 600~700℃，此区内产生能量。中层产生的废物经在线分离后，馈入重水慢化的内层嬗变，此区的温度亦为 70℃。这个系统要求的热中子注量率为 10^{16} 中子/平方厘米-秒。系统能量增益 $G=15$ ；嬗变能力以 MA 的等效寿命计为 0.01 年，FP 小于 15 年。

日本：由日本原子能研究所及部分核工业企业合作，提出了一个“从铀系核获得额外增益的选择”（OMEGA）计划。这计划的目的明确为嬗变 MA。次临界装置取钠冷快中子堆，分别分析了熔盐型及固体组件型两种堆型，相应加速器的要求分别为 1.5GeV、25mA 及 1.5GeV、40mA。能量增益相应为 21 及 14。嬗变 MA 能力均为 250 公斤/年，即一个系统可以嬗变 10 座 1000 兆瓦核电站年产的废物。

西欧：顾名思义，这个方案是以获得核能为目标的，主要的分析重点在于 Th-U 燃料循环，但分析结果表明，这系统还具有嬗变核废料的能力与产生核废料少的优点。系统以一台 1GeV、20mA 加速器及一座铅冷快中子次临界装置为主体设备，总装料为 27.6 吨 Th，并加入一定数量的 U-235 或 Pu-239，系统的能量增益因子 $G=120$ 。在 U-Pu 循环中，Pu 的等效半衰期约 10 年。

如用 Th-U 循环，则该系统是相当“洁净”的。下列估计值作为参考，取同样功率的系统运行 40 年，并经 1000 年冷却后，其剩余放射性的比值为：

惯性约束核聚变装置	1 ~ 20
Th—U 循环能量放大器	1 (经嬗变) ~ 100 (废物未嬗变)
燃煤	33
磁约束核聚变装置	1000
快中子增殖反应堆	20000

由于这个系统所要求的加速器流强指标相对较低，结合西欧的技术贮备，他们正利用瑞士已运行了近 20 年的 0.6GeV、1mA 加速器展开技术预研。

此外，俄、法等国也有各自的计划及设想；瑞典、韩国、捷克等国的核科技界也开始关注这一系统的研究动向。国际原子能机构也介入组织有关的专家会议。这些动态说明对这一新概念核能系统的研究在日益发展中。

由于中能强流加速器不仅在此核能系统中是必要的，而且具有广泛的应用，所以美、日、俄等国都花很大精力对强流加速器进行预研。最近，从私人通讯中了解到，美国在停止了对用于粒子物理研究的预期耗资 80 亿美元的超级超导对撞机计划后，能源部已决定在橡树岭国家实验室建设一台指标为 1GeV、5mA 的加速器，作为多用途核研究设施，今年开始拨款进行预研。如果这台加速器建成，无疑将是强流加速器物理及技术上一个里程碑性的工程。

核能系统的研究、开发是个周期长、投资大、涉及学科门类多的巨大的系统工程。尤其这一新技术路线把过去一直相对独立发展的加速器、反应堆、放射化学等学科汇于一炉，涉及的问题更为复杂。

从我国的核电发展看，到下世纪初将会达到 8400 兆瓦的装机容量。将积累起成吨的 MA 及 FP，对其处置的问题亦将提上日程。因此，在开始发展核电的同时，主动地研究对废物的处置方案是必要的。

目前，我们的研究工作方针可以归结为：跟踪国际动态，深化概念研究，适度技术贮备，加强国际交流。我们认为充分利用国际核科技界的研究成果，促进我们对系统的概念（从物理分析到准工程性系统）的研究是一条有效的途径。对必须的技术贮备（如加速器、放化流程）宜从小到大，从局部到整体，从“冷”试验到“热”试验逐步开展，以期从总体上形成我们的方案。

我们认为这个新的核能系统是有生命力的，不仅可以填补下世纪前半叶对核能的需求，也可能在相当长一段时间内与聚变能的利用并存。就我国资源情况看，就目前已掌握的铀资源量而言，如采取这一技术路线，则可能提供相当于前述可采煤的 $1/5 \sim 1/4$ 能源供应，相应在发电能力中所占的比例就更大。这样可确定核能成为我国下世纪能源构成中支柱之一的地位。

今日数学及其应用

王梓坤

北京师范大学

王梓坤 数学家。1929 年 4 月 30 日生于湖南零陵,1952 年毕业于武汉大学,1958 年获苏联莫斯科大学副博士学位,1988 年获澳大利亚麦克里大学名誉科学博士学位。先后任南开大学和北京师范大学教授(1984 年至 1989 年任该校校长),同时任汕头大学(1993 年起任该校数学研究所所长)教授。1991 年当选为中国科学院院士(学部委员)。专长概率论,并在随机过程等方面的研究与教学中取得多项系统的重要成果。

一、数学科学、高新科技与国家富强

1. 对数学的新认识之一 “国家的繁荣富强,关键在于高新的科技和高效率的经济管理。”这是当代有识之士的一个共同见解,也已为各发达国家的历史所证实。在我国,邓小平同志把科技对生产建设的重要性提到前所未有的高度;在美国,科学院院士 J. G. Glimm 也曾幽默地说过:40 年前,中国有句话说“枪杆子里面出政权”,而从 90 年代起,在全球应是“科学技术里面出政权”。他的话反映了国外许多人士对科技重要性的新认识。从最近海湾战争可以看出,高技术是保持国家竞争力的关键因素。“高新技术的基础是应用科学,而应用科学的基础是数学”。这句话把数学对高新技术的作用,从而对国富民强的作用,清楚地表达出来。当代科技的一个突出特点是定量化。人们在许多现代化的设计和控制中,从一个大工程的战略规划、新产品的制作、成本的结算、施工、验收、直到贮存、运输、销售和维修等等都必须十分精确地规定大小、方位、时间、速度、成本等数字指标。精确定量思维是对当代科技人员共同的要求。所谓定量思维是指人们从实际中提炼数学问题,抽象化为数学模型,用数学计算求出此模型的解或近似解,然后回到现实中进行检验,必要时修改模型使之更切合实际,最后编制解题的软件包,以便得到更广泛的方便的应用。

2. 新认识之二 数学科学对经济发展和竞争十分重要。好的经济工作者决不止是定性思维者,他不能只满足于粗线条的大致估计,而必须同时是一位定量思维者。数学科学不仅帮助人们在经营中获利,而且给予人们以能力,包括直观思维、逻辑推理、精确计算以及结论的明确无误。这些都是精明的经济工作者和科技人员所应具备的工作素质;大而言之,也是每个公民的科学文化素质。所以数学科学对提高一个民族的科学和文化素质起着非常重要的作用。

3. 新认识之三 “高技术本质上是一种数学技术”。这种观点已为越来越多的人所接受。许多西方公司意识到:利用计算技术去解决复杂的方程和最优化问题,已改变了工业过程的组织和新产品的设计。数学大大地增强了他们在经济竞争中的力量。无怪乎美国科学院院士 J. G. Glimm 不仅称数学为非常重要的科学,而且说它是授予人以能力的技术。他说:“数学对经济竞争力至为重要,数学是一种关键的普遍适用的,并授予人以能力的技术。”时至今日,数学已兼有科学与技术两种品质,这是其它学科所少有的,不可

不知。

由于对数学重要性的重新认识，在欧洲建立了“欧洲工业数学联合会”，以加强数学与工业的联系，同时培养工业数学家去满足工业对数学的要求。在一篇有关的报告中，列举了欧洲工业中提出的 20 个数学问题，其中包括：齿轮设计、冷轧钢板的焊接、海堤安全高度的计算、密码问题、自动生产线的设计、化工厂中定常态的决定、连续铸造的控制、霜冻起伏的预测、发动机中汽轮机构件的排列、电化学绘图等等。

4. 数学与诺贝尔经济奖 数学对经济学的发展起了很大的作用。今天，一位不懂数学的经济学家决不会成为杰出的经济学家。1969 年至 1981 年间颁发的 13 个诺贝尔经济学奖中，有 7 个获奖工作是相当数学化的。其中有 Kantorovich“由于对物资最优调拨理论的贡献”而获 1975 年奖，Klein“设计预测经济变动的计算机模式”（获 1980 年奖），Tobin“投资决策的数学模型”（获 1981 年奖）等等。在经济学中，用到的数学非常广泛，有的还很精深。其中包括线性规划、几何规划、非线性规划、不动点定理、变分法、控制理论、动态规划、凸集理论、概率论、数理统计、随机过程、有限结构（图论、格论）、矩阵论、微分方程、对策论、多值函数、集值测度，以及 Arrow 的合理意图次序理论等等，它们应用于经济学的许多部门，特别是数理经济学和计量经济学。

5. 爱因斯坦的见解 在数学与其他科学的关系方面，培根曾说数学是“通向科学大门的钥匙”；伽利略说“自然界的伟大的书是用数学语言写成的”。物理定律，以及科学的许多最基本的原理，全是用数学公式表示的。引力的思想早已有之，但只有当牛顿用精确的数学公式表达时，才成为科学中最重要、最著名的万有引力定律。另一位物理大师爱因斯坦认为，“理论物理学家越来越不得不服从于纯数学的形式的支配”；他还认定理论物理的“创造性原则寓于数学之中”。他自己的工作证实了这一思想，正是黎曼几何为广义相对论提供了数学框架。科学大师们的工作和思想，引导到如下的信念：“我们生活在受精确的数学定律制约的宇宙之中”，正是这种制约使得世界成为可认识的。世界可知是唯物认识论中的最重要的原理。

6. 数学是什么？ 恩格斯说：数学是研究现实中数量关系和空间形式的科学。虽然时间已过去一百多年，这一答案大体上还是恰当的，不过应该把“数量”和“空间”作广义的理解。数量不仅是实数，而且是向量、张量，甚至是有代数结构的抽象集合中的元；而空间也不是仅指三维空间，还有 n 维、无穷维以及具有某种结构的抽象空间。这样，恩格斯的答案已基本上包含了数学的主要内容，尽管还有一些重要的篇章如数理逻辑等包不进去。

7. 数学的特点 数学的特点是：内容的抽象性、应用的广泛性、推理的严谨性和结论的明确性。数学虽不研究事物的质，但任一事物必有量和形，所以数学是无处不在、无时不用的。两种事物，如果有相同的量或形，便可用相同的数学方法，因而数学必然、也必须是抽象的。同一个拉普拉斯（Laplace）方程，既可用来表示热平衡态、溶质动态平衡、弹性膜的平衡位置，也可表示静态电磁场、真空中的引力势等等。数学中严谨的推理和一丝不苟的计算，使得每一数学结论不可动摇。这种思想方法不仅培养了数学家，也有助于提高全国人民的科学文化素质。它是人类巨大的精神财富。爱因斯坦关于欧氏几何曾说：“世界第一次目睹了一个逻辑体系的奇迹，这个逻辑体系如此精密地一步一步推进，以致它每一个命题都是绝对不容置疑的——

我这里说的是欧几里得几何。推理的这种可赞叹的胜利，使人类的理智获得了为取得以后成就所必需的信心。”

8. 数学的成份 数学大体上可分为三大部分：基础数学、应用数学和计算数学。基础数学是数学中的核心，也是最纯粹最抽象的部分。它大致由三个分支组成：分析、代数和几何。这三者又相互交叉和渗透，从而产生解析几何、解析数论、代数几何等学科。此外研究随机现象的概率论、研究形式推理的数理逻辑等，也属于基础数学。

应用数学研究现实中具体的数学问题，它既采用基础数学的成果，同时又反过来从实际中提炼问题、探讨新思想和新方法以丰富基础数学。数学应用的领域虽无边际，但大致也可分为三方面：经济建设（工、农、商等）；科学与技术（特别是高科技）；军事与国防，详述见后。运筹学、控制论与数理统计等学科中，大部分内容属于应用数学；而经济数学、生物数学等，则是比较标准的应用数学学科。

计算数学偏重于计算，早期它致力于求出各种方程（代数方程、（偏）微分方程、微积分方程等）的数值解。近 40 年来，计算数学有了极其迅速的发展，这主要是由于电子计算机的出现。计算机的高速计算使得许多过去无法求解的问题成为可解，从而大大扩展了数学的应用范围。例如，短期天气预报、高速运行器的控制，离开计算数学和计算机是不可能的。近期，由于计算机模拟、计算辅助证明（如四色问题的证实）在人工智能中的应用，以及计算力学、计算物理、计算化学、计算几何、计算概率等新学科的诞生等等，使得计算数学雄风大振。今天，人们已把计算作为与理论、实验鼎足而立的第三种科学方法而引入科学界。

基础数学、应用数学与计算数学既有各自的特点又紧密相互联系。一个重大的数学问题，特别是从实际中提出的数学问题，都需要上述三种数学的内容和方法。建立数学模型，寻求解题方法，需要基础数学和应用数学，而使解题方法得以实现，则离不开计算数学。这三种数学互相补充，互相渗透，大大地促进了整个数学科学的发展。

9. 现代数学的新特点 数学内部各分支间的相互渗透、数学与其他科学（如控制论）的相互渗透、电子计算机的出现，正是当代数学三个新的特点。由于相互渗透而导致许多新问题和古老难题的解决，其成绩往往出乎意外而使人惊异。例如，对素数的研究以往认为很少有实用价值，却不料它在密码学中受到重用。密码学认为，千位以上的整数的素因子分解，几十年内在计算上不可能实现。但荷兰数学家得到了一个当前最好的因子分解算法，这严重地冲击了上述想法和密码的安全性。又如泛函分析中的无穷维 Von Neumann 代数解决了拓扑学三维空间中打结理论中一些难题。描写孤立波的 KdV 方程用于代数中，解决了 Riemann 提出的一个重要问题。描写随机现象的 Malliavin 演算给出了著名的 Atiyah-Singer 指数定理的新证明，并推广了这一定理。更使人感叹的是物理中的杨振宁——米尔斯规范场与陈省身研究的纤维丛间的紧密联系，二者间的主要术语竟可一一对应。例如，规范形式——主纤维丛、规范势——主纤维丛上的连络、相因子——平行移动、电磁作用—— $U(1)$ 丛上的连络等等。无怪乎杨振宁说：“我非常惊奇地发现，规范场说是纤维丛的连络，而数学家们在提出纤维丛上的连络时，并未涉及到物理世界”。

学科间的相互渗透是当今各门科学技术高速发展的必然后果，也是重要

原因；只有置身于众多高新科技急剧发展的大背景中，数学内、外部的相互渗透才是可能的，也是容易理解的。

10. 数学发展的趋势 今后数学的发展必然比最近数十年更迅速，成绩更巨大。科学技术越积累，人类认识、利用和改造自然的能力越增长，科学技术便越快发展，形成一良性循环。作为其中的一部分，数学也必然如此。总体上，高速发展是完全可以预言的；但至于哪些分支发展得更快些，更好些，则既依赖于该学科本身的活力又依赖于科技大背景的波动和社会的需要，难以肯定回答。不过从目前的情况看，非线性数学是一重要发展方向。线性方程的特征是叠加原理成立：如 ψ_1 、 ψ_2 是方程的两个解，则 $a_1\psi_1 + a_2\psi_2$ 也是解，其中 a_1 、 a_2 是常数。例如薛定谔方程

$$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = H\psi,$$

或拉普拉斯方程

$$\sum_{i=1}^d \frac{\partial^2 \psi}{\partial x_i^2} = 0$$

都是线性的。线性数学比较成熟。但还有许多问题是非线性的，如牛顿引力论中的基本定律是平方反比关系，粮食产量对肥料未必成正比等。引人注目的冲击波、孤立子、混沌现象、n 体问题等都是非线性的。非线性问题，不仅涉及面广，而且难度也大，这反而更能引发人们研究的兴趣。

除去非线性数学外，离散数学（涉及数论、抽象代数、数理逻辑、组合论、图论、博弈论、规划论等），概率论与数理统计、计算数学以及数学对生物学、经济学、语言学、管理学、控制论、复杂性等的渗透和应用，都会有更大的发展。其它数学也同样会有迅速的进展；甚至会爆出新的、出人意料的大冷门；晴空一鹤排云上，更引诗情到碧霄，这也是非常可能的。

二、大哉数学之为用

1959 年 5 月，华罗庚教授在《人民日报》上发表了《大哉数学之为用》，精彩地叙述了数学的各种应用：宇宙之大、粒子之微、火箭之速、化工之巧、地球之变、生物之谜、日用之繁等各个方面，无处不有数学的重要贡献。很难比这篇文章写得更全面了。下面只举些 60 年代以后数学的若干重大应用，以见一斑。我们会看到，有些重要问题的解决，数学方法是唯一的，也就是说，除数学外，用任何其他方法、仪器、手段都会一筹莫展。

1. 沙漠风暴与数学战 1990 年伊拉克点燃了科威特的数百口油井，浓烟遮天蔽日。美国及其盟军在沙漠风暴以前，曾严肃地考虑点燃所有油井的后果。据美国《超级计算评论》杂志披露，五角大楼要求太平洋-赛拉研究公司研究此问题。该公司利用 Navier-Stokes 方程和有热损失能量方程作为计算模型，在进行一系列模拟计算后得出结论：大火的烟雾可能招致一场重大的污染事件，它将波及到波斯湾、伊朗南部、巴基斯坦和印度北部，但不会失去控制，不会造成全球性的气候变化，不会对地球的生态和经济系统造成不可挽回的损失。这样才促成美国下定决心。所以人们说第一次世界大战是化学战（火药），第二次是物理战（原子弹），海湾战争是数学战。

数学在军事方面的应用不可忽视。再举三个例子，海湾战争中，美国将大批人员和物资调运到位，只用了短短一个月时间。这是由于他们运用了运筹学和优化技术。另一例是：采用可靠性方法，美国研制 MZ 导弹的发射试验

从原来的 36 次减少为 25 次，可靠性却从 72% 提高到 93%。再者，我国研制原子弹，试验次数仅为西方的 $1/10$ ，从原子弹到氢弹只用了 2 年 8 个月，重要原因之一是有许多优秀数学家参加了工作。

2. 太阳系是稳定的吗？地球的前途如何？是一个虽然遥远却非常有趣而重要的问题。将来太阳系是否会保持现状？是否有某行星脱离太阳系？行星间是否会碰撞？数学证明，太阳系在相当长时间内是稳定的，至少 10 亿年内如此。科学家还用计算模拟以研究恒星消亡过程。太阳最后变成一颗白矮星；但一颗质量约为 8-10 倍于太阳的恒星则会发生超新星爆炸：由于热源枯竭而收缩到一个小城市大小，密度达到原来的 100 万亿倍。这些物质产生巨大的刚性反弹而爆炸，恒星外壳被炸掉而剩下的残余成为中子星。天文学是数学的重要用武场所，1846 年勒维耶通过计算在笔尖上发现海王星，在科学史上传为佳话。在多体问题的研究中，由于初始条件不同，多体系统的运动或表现为规则的，或表现为混沌的。行星沿椭圆运动是规则运动的例子，而小行星在 Kirkwood 窗口的运动是混沌运动的例子：与木星的共振相互作用导致偏心率随机的变化，有时朝这一方向，有时朝另一方向；无规则变化的偏心率可能变得很大，这时小行星便可能陨落，例如落到火星上。

3. 石油勘探 这是数学取得重大经济效益的应用场所之一。石油深藏地下，人们通过人工地震记下反向回来的地震波，波形随着地层地质的不同而变化。用计算机处理所得的波形数据可以提供地下岩层、岩性以及有关石油、天然气等的知识。1991 年 5 月，美国壳牌石油公司应用计算技术于新奥尔良以南 39 公里的河流之下 930 公里处，探明了一个储量超过 10 亿桶的大油田。我国在这方面也做了许多工作（见后）。在数据处理中，Wiener 滤波起到重要作用。

4. DNA 与 CT 如果说二次大战以前，数学主要用于天文、物理，那么，现在数学已深入到化学、生物和经济、管理等社会科学中。例如，DNA 是分子生物学的重要研究对象，是遗传信息的携带者，它具有有一种特别的立体结构——双螺旋结构，后者在细胞核中呈扭曲、绞拧、打结和圈套等形状，这正好是数学中的扭结理论研究的对象，北京大学姜伯驹教授对此深有研究。下面两项有关生物、医学和化学的高技术中，数学起着关键性作用。X 射线计算机层析摄影仪（简称 CT）的问世是本世纪医学中的奇迹，其原理是基于不同的物质有不同的 X 射线衰减系数。如果能够确定人体的衰减系数的分布，就能重建其断层或三维图像。但通过 X 射线透射时，只能测量到人体的直线上的 X 射线衰减系数的平均值（是一积分）。当直线变化时，此平均值（依赖于某参数）也随之变化。能否通过此平均值以求出整个衰减系统的分布呢？人们利用数学中的 Radon 变换解决了此问题，Radon 变换已成为 CT 理论的核心。首创 CT 理论的 A. M. Cormack（美）及第一台 CT 制作者 C. N. Hounsfield（英）因而荣获 1979 年诺贝尔医学和生理学奖。另一项高技术是 H. Hauptman 与 J. Karle 合作，发明了测定分子结构的新方法，利用它可以直接显示被 X 射线透射的分子的立体结构。人们应用此方法，并结合利用计算机，已测出包括维生素、激素等数万种分子结构，推动了有机化学、药物学和生物学等的发展；二发明人分享了 1985 年的诺贝尔化学奖。由此可见在此二项技术中数学的关键作用。

5. 飞机制造 制造业中广泛地用到数学，今以飞机为例，设计师必须考虑结构强度与稳定性，这是用有限元来分析的，而机翼的振动情况则需解特

征值问题；为了使飞机省油与提高速度必需找到一种最佳机翼和整个机体的形状；如何为飞行员选择最优控制参数，也是必须考虑的问题。飞机设计在极大程度上以计算为基础，人们研究描绘机翼和整个机体附近气流的方程。工程设计和制造工艺主要靠计算机辅助设计（CAD）和计算机辅助制造（CAM）两大工具，而这两者又都以数学为理论基础。计算流体力学可以帮助人们设计新的飞行器。数学模型已代替了许多的实验，如风洞实验，既便宜、省时，又有适用性、安全性。以前利用风洞设计飞机某一部件，若要改变某一部位，必须在机械车间建一模型；而今天设计一数学模型，只要通过键盘打进新的参数即可。自动导航与自动着陆系统是根据卡尔曼滤波的方法设计的，而后者主要又是数学。在涡轮机、压缩机、内燃机、发电机、数据存储磁盘、大规模集成电路、汽车车身、船体等的设计中，也都用到了类似的先进数学设计方法。

6. Hardy 的故事 G. H. Hardy (1877—1947) 是英国著名的数学家，他推崇数学的“纯粹”和“美”，认为数学是一种永久性的艺术品。他从不谈（甚至轻视）数学的应用，他写道：“我从不干任何有用的事情，我的任何一项发现都没有，或者说不可能给这个世界的安逸带来最细微的变化……他们（指某些数学家）的工作，也和我的同样无用”。但他万万没有想到，1908 年他发表的一篇短文却在群体遗传学中得到重要应用。那篇文章可直观地解释如下：人的某种遗传学病（如色盲），在一群体中是否会由于一代一代地遗传而患者越来越多？20 世纪初有些生物学家认为确会如此，如果这样，那么势必后代每个人都会成为患者。Hardy 利用简单的概率运算，指出这种说法是错误的。他证明了：患者的分布是平稳的，不随时间而改变。差不多同时，德国的一位医师 Weinberg 也得到同样的结论。这一发现被称为 Hardy - Weinberg 定律。

7. 高超的数学工具——在宏观经济中的应用 宏观经济学研究经济综合指标的控制，例如研究失业、价格水平以及收支平衡的控制等。而微观经济学则针对买方和卖方，讨论消费与生产中的选择问题。1972 年以来，承担调整美国经济的政府机构联邦储备局，以最优控制方法，特别是线性二次方法为背景，提出了包括失业与通货膨胀平衡的政策建议。1973 年，《商业周刊》登了一篇文章，概述了最优控制在经济学中的潜在作用，文章说：“你如何努力地及时地刹住过于繁荣的经济，而又不至于滑入灾难性衰退的危险之中？……美国的决策者们恰好面临这种情形，而从经济学家那里极少得到明确的建议……对这种两难的情况，可从最优控制理论得到方法上的帮助”。利用控制理论和梯度法，人们求解了南朝鲜经济的最优计划模型（参考 *Econometrica*, Vol.33, May, 1970, D.Kendrick 等的文章）。美国、加拿大、智利等也有类似的经济模型。

8. 提高产品质量——数字在微观经济学中之应用 数理统计学的应用极为广泛，它的优势是从有限次的观察或实验中提取重要的信息。数理统计中的篇章“实验设计”、“质量控制（QC）”、“多元分析”等对提高产品的质量往往能起到重要的作用。一家美国电视机制造公司被日本人买下，这家公司的废品率非常高。通过运用 QC 后，废品率下降到 2%。下面的例子说明美国电话电报公司如何使用 QC 以提高质量。问题是关于自动化装配线，这一装配线由几个机件组成，其生产率出奇的低，而人们又找不出原因。QC 方法首先是收集数据以确定失败模式，很快找出问题的症结是生产线上所用的

塑料成分的尺度变化太大；这些塑料部件过分弯曲；金属元件间的焊接点过厚，使机件运行阻塞。经过一年的改进，生产率增加 121%，工作时间减少 61%，产品成功率从 90% 增到 98%。

一般地，某产品的质量依赖于若干个因素（原料、工艺时间等等），每一因素又有若干种可能的选择，如何挑出最优的选择搭配以求获得最佳的产品，是统计实验设计（SED）的主要研究问题。SED 有一段发展史，20 年代，R. A. Fisher 在农业中运用 SED，取得前所未有的成功。20 年代中叶蒂皮特运用 SED 于棉纺工业，随后又用于化学和制药工业。50 年代，美国戴明把 SED 介绍到日本，对日本制造业产生很大影响，日本工程师田口用此法以减小产品性能异性从而提高产品质量。日本工业广泛运用统计质量控制，后又发展成全面质量管理，这项措施大大提高了日本产品的质量，在国际上最有竞争力，引起了巨大的反响。80 年代，许多美国工业公司通过田口把统计方法用到设计和制造中，产品质量不断地得以提高。

三、近年来数学在我国的应用

1992 年 9 月，中国工业与应用数学学会召开了第二次大会，会上李大潜教授宣读了《努力发展中国的工业与应用数学》的报告，其中叙述了我国应用数学的新进展。本节便以这篇报告为基础，补充若干新材料。后者是由一些研究所和大学所提供的，自然是挂一漏万。如前所述，数学应用可分成在经济建设（1—8 段）、在科学技术（9—14，16）、在军事与安全（15）三者中的应用。

1. 优化、控制与统筹 人们希望在一定条件下，在多种策略中选取其一以获得最大利益；数学上，这要求目标函数（代表利益）达到极大。目标函数也可代表损失，于是要求它达到极小。这类问题往往化为求目标函数的条件极值，或者化为变分问题。优选法、线性规划、非线性规划、最优控制等，都致力于研究优化问题。如果有好几件工作要做，便发生如何合理安排，以使收效最大（时间最短、劳力或成本最省等），这是统筹（或运筹学）的研究对象。70 年代，华罗庚教授登高一呼，并且亲自动手，率领研究小组，深入到工厂、农村、矿山，大力推广优选法与统筹法，足迹遍及 23 个省市，成果遍及许多行业，解决了许多问题。例如，纺织业中提高织机效率与染色质量，减少细纱断头率；电子行业中试制新的 160V 电容器，使 100 万米废钼丝复活；农业中提高加工中的出米率、出油率、出酒率等等。目前张里千、陈希孺教授等正在开展的现场统计，对国家经济建设也起了很好作用。

由于改善数学模型，运用最优控制理论和改进计算方法，生产过程和工艺参数的优化已在钢铁、冶金、电力、石油化工中取得很好效果。武汉钢铁公司、上海石油化工总厂、南京炼油厂、燕山石化公司通过上述优化技术，提高生产率最高可达 20%，一套装置每年可增加几百万元的经济效益。攀枝花钢铁公司建立了提钒工艺流程系统优化的数学模型，进行全面调优后使钒的回收率达到国际水平，使我国从钒进口国一跃而为钒出口国。云南大学统计系运用多元回归分析研究钢的成份与性能关系，使昆明钢铁厂甲类镇静钢的合格率由原来的 40%~81% 提高到 95% 以上。华东师大数学系与上钢五厂合作，利用自适应技术，使力学蠕变炉温度调节由 6~7 小时减少为 2~3 小时，控制精度由 ± 4 提高到 ± 2 ，并使罩式退火的保温时间缩短 5%~20%，提高了炉温控制精度，保证了退火质量。上海科技大学数学系用最优化

数学，制成“E型电源变压器计算机优化设计系统”，可缩短设计周期，节约生产成本。

现代大型工业是多线路的联合作业，成为一完整的系统，因而产生系统的控制问题，在化工联合企业，半导体集成电路、电力传输系统、电话网络、空间站等方面都有此问题。上海石化总厂采用网络优化，建立了用电子计算机编制共四级（总厂、分厂、车间、机台）设备的大型网络计划体系。清华大学关于电力系统过渡过程的研究，相当巧妙地运用微分几何，取得了很好的经济效益，在国际上领先，曾荣获国家自然科学奖二等奖。

曲阜师范大学自动化研究所应用数学方法，对汽车发动机调温器进行了研究，提高了调温器的质量，从而延长发动机的寿命，并节约耗油量。他们还采用随机线性模型及定积分近似算法，提高了碘镓灯晒版机的质量，产品进入了国际市场；此外，他们制成智能广义预测鲁棒控制器，可用于生产过程中温度、压力的控制；他们还将山东机床附件厂的车间、生产、财务、销售、人事、动力等八个点实行计算机联网，进行优化管理。

运筹学起源于二战中军需供应管理，主要应用于工商经营部门和交通运输以对生产结构、管理关系、人事组合、运输线路等进行优化。应用数学所运用运筹学指导全国原油合理分配和石油产品合理调运，年增效益2亿元；另外，他们所发展的下料方法可节省原材料10%-15%。上海石油化工总厂、镇海石化总厂等运用运筹方法，每年可增加利税数百万乃至千万元。华南理工大学和甘肃外贸局合作，建立新的存贮数学模型和管理决策原则，每年可节省存贮费用近百万元。

2. 设计与制造 工程的设计与建造、产品的设计与制造是国民经济的重要支柱，也是数学大可用武之领域。随着电子计算机技术的飞速发展，数学在制造业中的应用进入了新阶段。波音767飞机的成功设计，与应用数学家Garabedian对跨音速流和激波进行的计算密切相关，由此设计出了防激波的飞机翼型。目前以CAD和CAM技术为标志的设计革命正波及整个制造业。CAD是数学设计技术和计算机技术相结合的产物。我国在老一辈数学家苏步青教授的亲自开拓和大力倡导下，许多数学家在几何造型方面做了大量的工作，所取得的成果已成功地应用于飞机、汽车、船体、机械、模具、服装、首饰等的设计。南开大学吴大任、严志达教授等在船体放样及齿轮设计上也做了很好的工作。

复旦大学数学系与工程人员合作，对内燃机配气机构建立新的数学模型，发展了新的数学方法，使用此方法可以省油、降低噪声和抑制排污，有很好经济效益，曾获国家科技进步奖一等奖。上海应用数学咨询开发中心等开发研制服装CAD系统，为服装行业创汇提供了基础。

3. 质量控制 提高产品质量是国民经济中的一个关键问题。二战中由于对军用产品的高质量要求，特别是对复杂武器系统性能的可靠性要求，产生了可靠性、抽样检查、质量控制等新的数学方法，这些方法在美国、日本等国家取得了巨大成功。从60年代中期开始，我国应用推广质量控制等统计方法到工业、农业等部门，收到良好的效果，以手表、电视机为代表的机电产品的质量得到明显提高。清华大学、天津大学等研究了裂纹的扩展过程，有助于改善产品。同时，我国还制定了一系列质量控制的国家标准，对产品的质量提出了明确的要求。

4. 预测与管理 自然科学的主要任务是预测、预见各种自然现象。在经

济和管理中，预测也非常重要，数学是预测的重要武器，而预测则是管理（资金的投放、商品的产销、人员的组织等）的依据。我国数学工作者在天气、台风、地震、病虫害、鱼群、海浪等方面进行过大量的统计预测。中科院系统所对我国粮食产量的预测，获得很好的结果，连续 11 年的预测产量与实际产量平均误差只有 1%。上海经济信息中心对上海的经济增长进行预测，连续多年预测的误差都不超过 5%。云南大学统计系运用多元分析和稳健统计技术，通过计算机进行了地质数据处理和矿床统计预测。

为了配合机构改革，中科院应用数学所周子康等完成了“中国地方政府编制管理定量分析的研究”，建立了编制与相关因素分析模型等五组数学模型，构成了同级地方政府编制管理辅助决策分析体系，使编制管理科学化、现代化。

5. 信息处理 在无线电通讯中运用数学由来已久，编译码、滤波、呼唤排队等是传统的问题。近年来，长途电话网络系统中出现的数学问题更为可观，例如，需要用数目巨大得惊人的线性方程组来描述系统的操作性能；一般的数值法对它们毫无用处，人们不得不用很大力气设计一些新算法。北京大学在信息处理方面，做了很多工作：他们研究的计算机指纹自动识别，效率远高于国际上通行的方法；研究成功新一代图像数据压缩技术，压缩比指标达 150 倍（而传统的 JPEG 国际标准算法只能达 30 倍）；研究计算机视觉，创造了从单幅图像定量恢复三维形态的代数方法；应用模式识别和信息论，在时间序列和信号分析的研究中取得新的进展；应用代数编码，使计算机本身具有误差检测能力，以提高计算机的可靠性。

6. 大型工程 工程设计以周密的计算、精确的数据为基础，大型工程尤其如此。中国科学院计算中心早在 60 年代，运用冯康教授等创立的有限元法，设计了一批工程计算专用程序，在国家重点工程建设中发挥了作用，他们先后完成 23 个工程建筑的设计，解决重大工程技术问题 58 项，并对 18 座水坝工程进行过计算，其中包括葛洲坝工程、新丰江大坝、白山电站、长湖水电站等。与此同时还进行了技术转让，造就了一批专门人才，发表了许多有价值的论文。

中国科学院武汉数学物理研究所仔细研究了古老而又青春长驻的都江堰渠道工程。根据历史典籍、数学模型与实例资料，揭示了此项工程的系统科学原理，阐明了它“千年不衰”的原因；并提出了发展开拓这一古老工程的具体建议；在此基础上他们扩大战果，提出了可行的、合理的《都江堰集中调度系统》数学模型与优化决策算法结构，其中包括水情预报模型、需水模型等等。原则上他们的研究成果可适用于一切灌溉水系及“流系系统”（如交通运输流、金融财政流、商品供销流等）的调度与规划。

三峡水利工程是举世关注的超大型工程，其中一个严重的施工问题是大量混凝土在凝结过程中化学反应产生的热，它使得坝体产生不均匀应力，甚至形成裂缝，危害大坝安全。以往的办法是花大量财力进行事后修补。现在我国已研制成可以动态模拟混凝土施工过程中温度、应力和徐变的计算机软件。人们可用计算方法来分析、比较各种施工方案以挑选最佳者，还可用它来对大坝建成后的运行进行监控和测算，以保障安全。

7. 资源开发与环境保护 在石油开发中我国数学界进行了长期的工作，参加的单位很多。70 年代中期北京大学闵嗣鹤教授等出版了关于石油勘探数学技术的专著，系统地介绍了有关的数学理论和方法。人们分析大量的

人工地震的数据，以推断地质的构造，为寻找石油、天然气的储藏位置提供依据；运用数理统计、Fourier 分析、时间序列分析等数学方法，成功地开发了具有先进水平的地震数据处理系统。近年来还用波动方程解的偏移叠加、逆散射等方法处理地震数据。参加这方面工作的先后有中科院计算中心张关泉等课题组，山东大学、清华大学等。南开大学胡国定教授等别开生面地用纯分析方法推导出所谓反褶积预测公式，在南海石油勘探中效果显著。

在石油开发的重要手段——测井资料解释方面，复旦大学等建立了电阻率测井的偏微分方程边值问题的模型，研制了高效能的数值方法，并据此进行优化设计、制造了新的测井仪器。采用此仪器和解释方法可发现容易忽视的薄夹层油层，以减少资源浪费。此仪器已被国内十多个油田采用，节省了几百万美元的进口外汇。应用数学所开展不稳定试验方法评价油藏特征研究，采用解微分方程和优化相结合的办法，成功地估计油气储藏量以及油井到油藏边界的距离，对新疆塔里木盆地雅克拉地区中生界油气的富集取得了明显的地质效果。北京大学数学系用三维有限元方法，对大庆油田地层滑移建立数学模型并模拟，据此以预报和预防，这样可减少损失。

水资源的研究十分重要。清华大学等建立了各种地层结构的数学模型，利用有限元方法计算地下水资源，建立了一套地下水资源评价的理论和办法，用于河南商丘和南京仙鹤门等地取得了实际效益，并在农田灌溉及理论研究上得到许多成果。云南大学统计系利用三维趋势分析，通过电子计算机模拟显示，拟合云南某矿区铅锌矿带分布方向、矿体定向位置，预测出三个成矿地段；同时指出东南方向矿藏变薄，从而及时撤回对该地段的勘探，避免了浪费。他们探矿的两篇论文发表在美国《Mathematical Geology》杂志上，法国、瑞典曾来函购买计算程序。此外，他们还建立了水生细菌生态学的数学模型，找出了 *E. Tor* 弧菌的最佳和最劣生长条件及生长规律，肯定了此种菌能越冬生长。

在环境保护与预防自然灾害方面，李国平教授发表过《数理地震学》专著。其它有关运用数学方法进行预报的书也不少见。

数学工作者对江、湖、河口的污染扩散，土壤洗盐等问题成功地进行了分析和模拟；对北京、天津、成都等城市的交通、管理自然条件和社会的容纳力做了深入的研究、预测和评价。例如，上海市关于地面沉降及地下储能的探讨，山东大学对西安市地下水污染模拟及预测，都是值得称道的工作。

8. 农业经济 中国科学院武汉数学物理研究所在分析了我国传统的生态农业思想与人类开发关系等问题之后，提出了一个生态农业经济发展及整治的理论框架与行动措施，以图高产、优质、高效来增加农民收入。他们建立了 18 个数学模型，其中包括：一般水环境整治与扩建、水电能源的投入产出与经济系统的优化、林业开发、土地资源开发等优化模型。

中国科学院系统所王毓云运用数学、生物、化学与经济学交叉的研究成果，建立了黄淮海平原农业资源配置的数学模型。按照模型计算，制定了黄淮海五省二市的资源配置规划。通过十年实施，农业发生了巨变。此项研究获得了国家重大攻关奖及国际运筹学会荣誉奖。

曲阜师范大学运筹学研究所所长长期面向农业，他们先后与山东省 23 个县市的农业部门合作，取得了经济和社会效益。他们运用线性规划、对策论、参数规划等数学工具，为长清县种植业和畜牧业制定最优的结构布局方案；采用模糊聚类分析方法，建立了桓台县水产业最优结构的模型；为郯城县剩余

劳力提出了合理转移方案；根据陵县的农业生态环境，建立了“盐、碱、荒地”、“低产田”，“中产田”开发治理的优化模型；为济南市的蔬菜产销结构，畜禽结构提出最优方案，并已为济南市有关部门所采用和执行。

9. 机器证明 计算机能进行高速计算，此为人所共知。计算机也能证明几何定理吗？这是关系到人类智能大大扩展和解放的大问题。1976年吴文俊教授开始进行研究，并在很短的时间内取得重大突破。他的基本思想如下：引进坐标，将几何定理用代数方程组的形式表达；提出一套完整可行的符号解法，将此代数方程组求解。此两步中，一般第二步更为困难。周咸青利用和发展吴文俊方法，编制出计算机软件，证明了500多条有相当难度的几何定理，并在美国出版了几何定理机器证明的专著。吴方法不仅可证明已有的几何定理，而且可以自动发现新的定理；可以从Kerler定律推导牛顿定律；解决一些非线性规划问题；给出Puma型机器人的逆运动方程的解。吴文俊教授还将其方法推广到微分几何定理的机器证明上。

10. 新计算方法 近年来国内研制出多种新的算法，具有很高的水平。中科院计算中心冯康研究组提出哈密尔顿系统的辛几何算法，获得了远优于现有其它方法的效果。研究成果在天体力学、等离子体流体力学、控制论等领域有现实应用或潜在应用，此工作获得中科院自然科学奖一等奖。

有限元分析的最主要的位移模式中通常使用两种元，即协调元与非协调元。后者具有更高的精确度，但收敛性较难保证。石钟慈研究了非协调元收敛性的各种性质，建立了收敛判别法；证明了许多种极有应用价值的非协调元的收敛性等等。

早在70年代，华罗庚、王元二教授开展了近代数论方法在近似分析中应用的研究，对多重积分的近似计算卓有成效，被称为华-王方法，其理论基础是数论中的一致分布论。近年来，王元与方开泰合作，发展了此方法并应用于数理统计，推广了“均匀设计法”，与通常“正交设计法”相比可减少试验次数，节省工作量与经费2/3，此方法已在航天部有关单位使用。四川大学柯召教授等在不定方程的研究中，以及徐利治教授在近似计算中，也做了很好的工作。

计算中心余德浩在自然边界元方法和自适应边界元方法研究中，得到了系统完整的成果，开辟了边界元研究的新方向，获得中科院自然科学奖一等奖。

北京大学数学系应隆安教授等独立于西方发展了无限元计算方法，20年来主要用于两方面：应力强度因子的计算和流体计算。用此种算法计算方腔流，在角点处得到了无穷多个向角点收缩的涡旋，这是用其它方法所得不到的。

北京大学张恭庆教授对无穷维Morse理论与方程的多重解，中科院计算中心袁亚湘对非线性规划的理论和算法，都取得重要研究成果。

计算是我国古代数学家的特长，例如祖冲之计算圆周率的巧妙算法，达到当时数学的顶峰。中科院系统研究所林群教授创立了“最优剖分”方法，发扬了祖冲之的优良传统。他发现剖分的形状可以决定计算的成败，因而必须选择最优剖分。这一成果得到国际同行高度评价，获中科院自然科学奖一等奖，并在我国及巴基斯坦的核电站中使用。

为了便于概率统计计算，中科院计算中心制成“随机数据统计分析软件包”（简记为SASD），在科研、教学、生产、管理等方面发挥了重要作用，

至今已有 200 多个单位购买和安装了 SASD。此外，中科院软件研究所陶仁骥等人在自动化方面的工作，也取得了重要进展。

11. 数学物理 数学与物理是联系最紧密的两门科学。本文所说的数学物理只是指数学在物理中的应用。这方面人才济济，许多优秀的数学家都做过与物理有关的研究工作。中科院武汉数学物理研究所主编的《数学物理学报》，为推动数学物理的研究起了很大作用。南开数学研究所在这方面的研究中成绩显著。复旦大学谷超豪教授研究规范场的数学理论，发表了《经典规范场理论》等专著，目前他正致力于非线性数学的研究。周毓麟教授关于深水波的传播方程以及非线性伪抛物型方程、丁夏畦教授关于等熵气流方程的初值问题以及廖山涛教授对动力系统的深刻研究，都来源于物理或与物理紧密相关。陆启铿教授等将旋量分析运用于引力波，在引力波场方程求解方面获得成功的结果。

孤立子是非线性波动方程的一种具有粒子性状的解，它是由数学家首先发现的；它的发现及相应的数学理论的发展是当今数学的一件大事，在基本粒子、流体力学中有广泛应用。复旦大学胡和生教授对孤立子与微分几何中若干问题进行研究，得到系统的成果。中科院计算中心屠规彰等研究了非线性波方程的不变群守恒律、贝克隆变换等，解决了一类重要的非线性演化方程守恒律个数的猜想。中科院计算中心孙继广对广义特征值的扰动理论找到了一条好的研究途径，得到了一系列扰动定理，并解决了 Moler 等人提出的几个问题。上述计算中心三项工作均获得中科院科技成果奖一等奖。

12. 最短网络 1990 年，中科院应用数学所研究员堵丁柱与美籍华人黄光明合作，证明了有关网络路线最短的一个猜想（Pollak - Gilbert 猜想，1968 年提出），在美国离散数学界引起轰动，被列为 1989—1990 年度美国离散数学界与理论计算机科学界的两项重大成果之一。设 ABC 为等边三角形，连接三顶点的路线（称为网络）。这种网络有许多个，其中最短路线者显然是二边之和（如 AB + AC）。但若允许加新点 P，连接 4 点的新网络之路径长为 PA + PB + PC。最短新路径之长 N 比原来只连三点的最短路径 O 要短。推广到任何 n 点（不必成等边），上述猜想为

$$\frac{N}{O} \leq \frac{\sqrt{3}}{2} \approx 86.6\%$$

此猜想持续 22 年，是贝尔实验室一直关注的难题，它在供电线路设计、计算机电路设计中都有应用，无怪乎解决后引起强烈反响。

13. 几何设计 用计算机作为辅助工具制作影片，是一有趣的新课题，其中用到计算几何学与分形（Fractal）几何的知识和方法。北方工业大学 CAD 研究中心完成三项成果：

a. 1990 年亚运会期间，首次在我国把电脑三维动画搬上银幕，做成亚运会体育大舞台电影片的片头。继而又完成 14 个节目头；为中央电视台制作新闻联播片头；1991 年春节前，完成国内第一部电脑卡通寓言电视片《咪咪钓鱼》。

b. 1992 年完成国内第一部全电脑制作的科教片《相似》，被评为“它在中国电影技术发展史上有重要影响”的事件。

c. 利用计算机制作三维动画广告多个。

14. 模糊推理 人脑能从模糊的观察对象提炼出有用的甚至精确的信息，即使对象蒙上伪装也能识别，这是计算机所望尘不及的。大脑的这种卓

越的功能真令人惊叹不已。模糊数学研究的正是模糊的对象。请不要误以为这种数学本身是模糊的、不精确的。北京师范大学汪培庄教授等从事模糊数学的理论和应用的研究。基于他们自创的理论，研究成功国际上第二台模糊推理机。推理速度比日本的第一台（1987年7月推出）提高50%，而样机体积只有它的 $1/10$ 。随后又研制成功总线级推理机，达到了标准化和通用化。在家用电器方面，开发成功模糊空调器、模糊电冰箱等。在工业应用方面，制成“电气化铁路输电线几何参数图像识别系统”、“心肺功能数据处理系统”以及为首钢制造的“给水系统模糊控制器”等。

我国研究模糊数学而且成绩显著者还有四川大学刘应明、陕西师大王国俊等教授。

15. 军事与国防 上面已提到，我国所以能在很短时间内制成原子弹、氢弹和其他先进武器，发射火箭与卫星，是由于许多优秀科技工作者的共同努力，其中也凝聚着数学家的劳动和智慧，他们的贡献暂时默默无闻，然而必将永照史册。

运用数学对重要信息加密或破密，形成一门新的应用数学——密码学，即密码分析与讯息安全设计。北京大学段学复教授等对此进行了长期研究，他们的成果对于一类重要的特殊情况能提高计算时效2000倍；此外，还开设了几届进修班。中科院系统研究所万哲先研究员等人相互独立同时完成对移位寄存器序列的理论，进行了潜心的研究，他们的成果丰富了线性及非线性移位寄存器序列的理论，在保密通信中有重要作用；再者，他们运用典型群方法，进行了认证码的构造，这也是保密通信的一个重要方面。以上段、万二位的工作都得到高度评价和奖励。中国科技大学曾肯定教授等对密码分析及讯息安全保护，也做了重要的工作。

在刑事案件中，常遇到被烧毁的纸灰，如能利用它以鉴别纸张类型，对侦破有时有重要意义。云南大学统计系利用聚类分析、判别分析等统计方法，做了这方面的研究，据此侦破案件多起而获奖。

曲阜师范大学自动化研究所运用系统辨识等方法制成重烧伤输流电脑测算仪，提高了对烧伤病人的医护水平。此仪器已为四所军医大学及其它单位所采用，并获中国人民解放军科技进步奖二等奖。

16. 其它 数学应用多种多样。北京大学黄敦教授与杨淳等研究冲击波及滑流的四种数值概型，得到很好的结果。计算物理学家用 Monte-Carlo 方法计算了子宫颈癌腔内放射治疗剂量的分布，既准确又简便，提高了治疗效果。国外提出了几种艾滋病的数学模型，如 HIV / AIDS 传播动态模型、危险行为模型等；对肿瘤也有数学模型，如 Mendelson 模型、Conpertz 模型等。关于卫生保健，云南大学对云南省学生体质进行了调查，形成了“体调数据库”，建立了“指标综合数学模型”等。

四、为数学强国而奋斗

三年前在南开大学举行的 21 世纪数学展望会上，陈省身教授及与会的数学家都认为，数学是我国人民擅长的学科，我国完全有希望在 21 世纪前期成为数学大国、数学强国；他们还提出：数学应该率先赶超国际先进水平。的确，我国古代数学有过辉煌的成就；近几百年由于封建社会政治腐败和帝国主义侵略，数学落后了。新中国诞生后，我国数学有了很大的发展。在 1956 年科学发展规划的指导下，建立和发展了微分方程、概率统计、计算数学、

泛函分析、多复变函数论、运筹学、控制论等分支学科。到 1965 年，我国数学的基础研究已具有相当规模，并且有自己的特色，在国际上有一定地位。我国的《数学学报》曾被美国全部译成英文出版。十年动乱中，数学研究受到严重破坏。改革开放以来，数学界恢复了活力，国内的学术风气非常活跃，陈景润、王元、潘承洞等在数论和杨乐、张广厚等在函数论方面的优秀成果饮誉国际，从而大大鼓舞了士气。研究队伍和方向也进行了重新组合和调整，一批新的数学研究所（如南开数学研究所）相继建立。国外来访的专家讲学频繁，同时我国也有不少专家到国外讲学或参加国际学术会议。大批中、青年学者则以访问、进修或攻读学位的方式出国留学。学术上的内外交流沟通了信息，提高了水平。更令人欣喜的是，一批优秀的青年博士学成回国开始填补若干重要的空白领域如代数几何等；国内自己培养的博士也逐渐崭露头角，研究工作出色者大有人在。原先有较强实力的领域，如数理逻辑、数论、代数、函数论、拓扑学、微分几何、微分方程、泛函分析、概率统计、控制论、运筹学、计算数学等，以及起步较晚的一些学科，如代数数论、代数几何、非线性泛函分析、动力系统、整体微分几何、随机分析、机器证明和模糊数学等，都在近年内做出了达到或接近国际先进水平的成果。最近两届国际奥林匹克数学竞赛，我国连获团体冠军，个人金牌数也名列前茅，消息传来，全国振奋。我国数学，现在有能人，后继有强手，国内外华人无不欢欣鼓舞。

然而另一方面也必须看到，从整体上看，我国数学研究的水平与世界先进国家相比，还有相当差距。另一严重情况是，到 2000 年，高校数学师资将面临严重短缺。以高校理科而言，现有数学教师约 24,000 人，到 2000 年若有 55% 退休，即退休 13,200 人，那么，即使以全部研究生补缺，仍短少约 2,000 人。因此，必须吸引更多年轻人学习数学。

为了使数学更健康地发展，更好地为社会主义建设服务，特提出下列建议：

1. 在指导思想方面，提倡“全面发展，重点扶持，办出特色”。发展科学文化，“百花齐放、百家争鸣”的方针是正确的。数学中子学科繁多，而且不断有新学科出现，每门新学科的发展前途，难以逆料。因此，应该给各学科以充分发展的机会，在发展中竞争。所谓重点，是指那些对科学发展或实际应用已逐步展示其重要作用的学科或项目，如非线性数学、计算数学、计算机数学、离散数学的某些方面，数学物理、数学的其他边缘学科、概率统计等。对重点学科，应给以较大扶持。任何一个国家都不可能在数学的各方面都领先。为了赶超国际先进水平，只能重点突破；在某几个学科或项目上率先突破，这就必须有我国自己的特色。特色是什么？这是一个值得深入研究的大问题。

2. 空气哺育万物而自身无赏；同样，数学教育众人而报酬极低；桃李无言，下自成蹊。另一方面，学习数学又难，成为拔尖人物更难。无怪乎现代青年人大都不愿学数学，即使有数学天才者也避而远之；奥林匹克竞赛优胜少年，又有几人立志数学？这实在令人感叹而忧伤。要区别对待各类人才。对有成就的数学家，要更好发挥他们的作用，在社会地位、生活待遇上有一定优先，因为他们的今天是青少年的明天，对青少年起着示范和吸引作用；对达到国际第一流水平的学者应重金聘请；对博士，无论国外或国内培养者要同样待遇，今后逐步过渡到以国内培养为主。惜乎现在博士生源枯衰，报

考者寥寥无几。要多吸引优秀青年学成后回国工作。国家自然科学基金委员会每年举办数学讲习班，请留学国外的博士回来短期讲学，效果很好，是一创举，如能提供单程国际机票，则会吸引更多学子回来。对 30 岁左右学业有成的学者，需提供条件，使其在工作、出访、职称、生活等方面均能得到相应的待遇，以便早日脱颖而出。中小学数学教学，既要有科学性，又要有趣味性，以提高青少年学数学的兴趣。对成绩优秀者，给以奖励，奥林匹克金牌获得者应予重奖，金额应接近体育金牌获得者。

3. 数学研究设备虽比较少，但计算机、图书资料、国内外交流、人才培养等都需要大量经费，“一支笔、一张纸”的研究方式已成历史。应大力开辟财源，除国家拨款外，国家自然科学基金对数学与物理的资助以 1:3 为宜。社会名流、企业和财团的支持应是一重要财源，这方面开发得还很不够，应对他们进行宣传，给予技术帮助，使他们从中获益，从而体会到数学的好处。

4. 学科的强大生命力在于对社会进步的贡献，数学也不例外。数学的贡献在于对整个科学技术（尤其是高新科技）水平的推进与提高，对科技人才的培养和滋润，对经济建设的繁荣，对全体人民的科学思维与文化素质的哺育，这四方面的作用是极为巨大的，也是其它学科所不能全面比拟的。数学工作者应主动联系实际，了解与数学有关的各种问题。同时也希望社会各界人士多予关注、支持与帮助，多与数学界合作，主动提出各种咨询，以使数学科学更深入地扎根于实际，为我国的社会主义建设多作贡献。